



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
EN SUELOS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE

LA NUTRICIÓN COMO FACTOR DE PRODUCTIVIDAD DEL
CULTIVO DE HIGUERILLA (*Ricinus communis* L.)

Que como requisito parcial
para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Presenta:

MARTA ANDREA VARGUEZ URBANO



Bajo la supervisión de: Ranferi Maldonado Torres, Dr.



Chapingo, Estado de México, abril 2021

LA NUTRICIÓN COMO FACTOR DE PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE
HIGUERILLA (*Ricinus communis* L.)

Tesis realizada por **Marta Andrea Varguez Urbano** bajo la supervisión del
Comité
Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE**

DIRECTOR:



Dr. Ranferi Maldonado Torres

ASESOR:



Dr. David Cristóbal Acevedo

ASESOR:



Dr. José Víctor Tamariz Flores

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico a todas las personas que me acompañaron físicamente y mentalmente a lo largo de mi estancia en el posgrado. A mis padres por siempre creer en mí y brindarme su apoyo y amor, sin los cuales no hubiera logrado esta meta. A mis amigas del posgrado, Luisa y Esmeralda, cuya compañía y apoyo enriquecieron mi vida en estos dos años. A mis profesores que siempre buscaron convertirnos en alumnos excelentes, por enseñarme que tengo un largo camino que recorrer y hacerme saber que puedo dar mucho más de mí. A Lolita, una maravillosa persona que llena el posgrado con su luz y amabilidad, sin su ayuda y confianza tampoco hubiera podido concluir esta etapa académica. Finalmente, a Damián, por su compañía y amor, quien a su lado todo se convierte en una aventura. Gracias por recorrer estos dos años a mi lado.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a las personas que contribuyeron de diferentes formas a la obtención de este grado académico. Del mismo modo, agradezco en especial a la Universidad Autónoma Chapingo, el Posgrado y, por último, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo financiero otorgado.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Marta Andrea Varguez Urbano

Fecha de nacimiento: 11 de julio de 1991

Lugar de Nacimiento: Puebla, México

CURP: VAUM910711MPLRRR03

Profesión: Bióloga

Cédula Profesional:



Desarrollo Académico

Bachillerato: Instituto Mexicano Madero, Puebla, México

Licenciatura: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

Ha participado en proyectos de conservación de fauna silvestre en el estado de Puebla en cooperación con CREANATURA A.C., inventarios de flora y fauna y como auxiliar de investigación en el proyecto "Estimación del almacenamiento y captura potencial de carbono en el sitio RAMSAR Presa Ávila Camacho" en el Instituto de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla (2016).

Ha participado como autora y coautora de las siguientes publicaciones:

Plan de Gestión integral de residuos sólidos en ciudad universitaria, BUAP. En: Perspectiva de los retos: Innovando juntos. Obra colegiada de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Vol. V ISBN BUAP 978-607-487-730-4, Puebla, 2014.

Registros de carnívoros como indicadores de la existencia de corredores en Puebla, Centro de México". Mesoamericana, Volumen 15(2) octubre de 2011. pp 142-143. Morelos, México.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN GENERAL	ix
GENERAL SUMMARY	x
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.2 HIPÓTESIS.....	4
1.3 LITERATURA CITADA	4
2 CULTIVO DE HIGUERILLA	5
2.1 Situación del cultivo de higuera.....	5
2.1.1 Cultivo de higuera en el mundo	5
2.1.2 Cultivo de higuera en México.....	7
2.2 Características del cultivo de higuera.....	8
2.2.1 Descripción botánica	8
2.2.2 Generalidades del cultivo de higuera.....	11
2.3 Importancia económica de higuera	20
2.3.1 Aceite de higuera en medicina y cosmética.....	21
2.3.2 Higuera en la agricultura.....	22
2.3.3 Aceite de ricino en biodiesel.....	23
2.3.4 Otros usos industriales de ricino	23
2.4 Higuera como cultivo alternativo	24
2.5 LITERATURA CITADA	25
3 FERTILIDAD DE SUELO Y NUTRICIÓN DE CULTIVO DE HIGUERILLA: UNA REVISIÓN	28
3.1 RESUMEN.....	28
3.2 SUMMARY	29
3.3 INTRODUCCIÓN.....	30
3.4 ORIGEN DE LA INFORMACIÓN.....	31
3.5 GENERALIDADES DE LA REVISIÓN	32
3.6 CONCLUSIONES	34

3.7	LITERATURA CITADA	35
4	EVALUACIÓN DE EFECTOS DE NUTRICIÓN EN LA PRODUCTIVIDAD DE HIGUERILLA EN SU ETAPA EXPERIMENTAL DE PRODUCTIVIDAD	37
4.1	MATERIAL Y MÉTODOS	39
4.1.1	Sitio de experimento.....	39
4.1.2	Análisis de agua	39
4.1.3	Análisis nutrimental de suelo y planta (foliar)	39
4.1.4	Material vegetal.....	42
4.1.5	Diseño experimental y tratamientos	42
4.1.6	Establecimiento de experimento y sistema de irrigación.....	44
4.1.7	Variables evaluadas.....	44
4.2	INTRODUCCIÓN.....	45
4.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.3.1	Análisis de agua, suelo y planta (foliar).....	46
4.3.2	Análisis factorial de variedades y fertilizantes	60
4.3.3	Componentes de rendimiento	63
4.4	CONCLUSIONES	69
4.5	LITERATURA CITADA	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de parcelas en el campo experimental El Sahuaral, Sonora	43
Figura 2 Parámetros químicos de agua de riego empleada en sección 1	47
Figura 3. Parámetros químicos de agua de riego empleada en sección 2	48
Figura 4. Análisis de suelo representativo del sistema de producción de higuera	51
Figura 5. Análisis de salinidad de suelo del sistema de producción de higuera	52
Figura 6. Carta de balance nutrimental foliar	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Artículos por área y años	32
Tabla 2. Principales propiedades del suelo de las parcelas experimentales	50
Tabla 3. Valores calculados de IB, valores de media poblacional (S) y Coeficiente de Variación (CV).....	53
Tabla 4. Clasificación de los valores de índice de Balance	54
Tabla 5. Concentración nutrimental e índices de Desviación del Óptimo Porcentual (DOP).....	59
Tabla 6. Relaciones estadísticas y comparación de medias entre fuentes de variación y características morfológicas	60
Tabla 7. Relaciones estadísticas entre fuentes de variación y características de racimos y frutos en racimo principal.....	61
Tabla 8. Relaciones estadísticas y comparación de medias entre fuentes de variación y características de racimos y frutos en racimos secundarios.....	62
Tabla 9. Relaciones estadísticas y comparación de medias entre fuentes de variación y rendimiento de semilla	63
Tabla 10. Valores de componentes de rendimiento de higuera	64

RESUMEN GENERAL

La nutrición como factor de productividad del cultivo de higuera (*Ricinus communis* L.)

La higuera (*Ricinus communis* L.) ha cobrado interés mundial como insumo para la producción de biodiesel. El objetivo de esta investigación es evaluar el potencial productivo de este arbusto a través de cuantificar variables de crecimiento y rendimiento, bajo dos tratamientos nutritivos, con la finalidad de valorar su viabilidad productiva en zonas áridas de México. La revisión de literatura incluyó datos obtenidos de 50 artículos científicos relacionados con nutrición vegetal. Se evaluó el estado nutrimental edáfico y foliar, y calidad de agua de riego en una plantación comercial de Higuera en, Sonora. Se utilizó el Índice de balance (IB) y Desviación del Óptimo Porcentual (DOP), con los resultados se formuló el tratamiento Ápice (125-70-0; Fe=1.7; Mn=1.8; Zn=2.2 Cu= 1.2.); el tratamiento Castor (113-50-30; Mg, Fe y Zn) consistió en dosis comerciales, ambos se aplicaron a las variedades Verónica y Nica. El diseño experimental fue bloques completos al azar con arreglo factorial 2x2. Se evaluaron diez componentes de crecimiento y dos de rendimiento. En suelo, existen deficiencias de Fe, Zn, Cu, Mn y Na; en menor grado de P, es pobre en MO; K, Ca, Mg y B son excesivos. El análisis foliar indica niveles de N, P, K, Mg, Mn, Zn y Cu abajo de normal; Ca normal y Fe y B excesivos. En crecimiento, Verónica obtuvo mejores características en todas las variables. En rendimiento de grano (t/ha), el tratamiento A (Ápice) superó ($p < 0.05$) al B (Castor) en 7.55% en Verónica y 49.02% en Nica. En rendimiento de aceite, el tratamiento A superó ($p < 0.05$) al B en 17.24% en Verónica y 73% en Nica. Se concluye que es viable la producción de higuera con rendimientos adecuados en esta zona si se aplica el tratamiento acorde a las necesidades nutritivas del cultivo. Para obtener un mejor rendimiento de aceite se recomienda utilizar otras variedades.

Palabras clave: *Ricinus communis* L.; condición nutrimental de suelo; nutrición vegetal; balance mineral; productividad de cultivo.

Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible. Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Marta Andrea Varguez Urbano

Director de tesis: Dr. Ranferi Torres Maldonado

GENERAL SUMMARY

Nutrition as a productivity factor of the castor bean crop (*Ricinus communis* L.)

Castor (*Ricinus communis* L.) has gained worldwide interest as an input for the production of biodiesel. The objective of this research is to evaluate the productive potential of this shrub by quantifying growth and yield variables, under two nutritional treatments, in order to assess its productive viability in arid zones of Mexico. The literature review included data obtained from 50 scientific articles related to plant nutrition. Edaphic and foliar nutritional status, and irrigation water quality in a commercial plantation of Higuierilla in, Sonora, were evaluated. The Balance Index (IB) and Deviation of the Optimal Percentage (DOP) were used. With the results, the Apice treatment was formulated (125-70-0; Fe = 1.7; Mn = 1.8; Zn = 2.2 Cu = 1.2.); the Castor treatment (113-50-30; Mg, Fe and Zn) consisted of commercial doses, both were applied to the Veronica and Nica varieties. The experimental design was randomized complete blocks with a 2x2 factorial arrangement. Ten growth components and two yield components were evaluated. In soil, there are deficiencies of Fe, Zn, Cu, Mn and Na; to a lesser degree of P, it is poor in OM; K, Ca, Mg and B are excessive. Foliar analysis indicates levels of N, P, K, Mg, Mn, Zn and Cu below normal; Normal Ca and excessive Fe and B. In growth, Veronica obtained better characteristics in all variables. In grain yield (t / ha), treatment A (Apex) surpassed ($p < 0.05$) B (Castor) by 7.55% in Verónica and 49.02% in Nica. In oil yield, treatment A surpassed ($p < 0.05$) to B by 17.24% in Verónica and 73% in Nica. It is concluded that castor production with adequate yields is viable in this area if the treatment is applied according to the nutritional needs of the crop. To obtain a better oil yield it is recommended to use other varieties.

Keywords: *Ricinus communis* L.; soil nutritional condition; plant nutrition; mineral balance; crop productivity

Thesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible. Universidad Autónoma Chapingo

Author: Marta Andrea Varguez Urbano

Advisor: Dr. Ranferi Torres Maldonado

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción de ganado, tradicionalmente, dominaba en las zonas más áridas del mundo y las tierras de cultivo se establecían en las áreas subhúmedas secas; sin embargo, en los últimos años las tierras secas también se están destinando a cultivos. Aproximadamente, el 44% del total de los cultivos mundiales están en tierras secas, que representan el 41.3% de la superficie mundial del suelo (UNDDD,2010). En estas regiones, el manejo eficiente del recurso agua es fundamental, adquiriendo sentido las técnicas de conservación de suelos y agua, pues con una estación de crecimiento corta y una precipitación escasa y variable, la explotación agrícola resulta marginal. También están asociadas elevadas temperaturas, con grandes oscilaciones día-noche y anual, debido a la oscilación de la radiación solar (Porta, López y Roquero,2003).

Ante estas condiciones, el riego se convierte en la única posibilidad para una agricultura productiva. Sin embargo, si el agua de riego es de baja calidad y no existe un manejo adecuado acorde a sus características, como pueden ser lavados y drenajes para evitar la salinización, puede conllevar a la degradación del suelo. Otros condicionantes productivos son riesgo de erosión eólica, escasa capacidad para almacenar nutrientes y agua y el límite de adaptación de las plantas a estrés hídrico. Por todas estas condiciones, el uso de estas tierras por encima de su aptitud, puede crear desequilibrios entre los recursos y pone en riesgo la supervivencia de la población que dependa de ellas. Cuanto más árido sea el clima, más grave será el impacto negativo de aquellas actividades que no sean biológica y ecológicamente sustentables a largo plazo (Porta, López y Roquero,2003).

Debido a las problemáticas expuestas, es necesario generar estrategias y alternativas productivas, como puede ser la implementación de cultivos de baja demanda de agua, tecnologías agroforestales y/o agricultura de conservación. Un ejemplo son las plantaciones energéticas, que consisten en el cultivo de

especies seleccionadas de árboles y arbustos que son cosechables en un tiempo más corto y se destinan específicamente para producción de bioenergía, que incluye biocombustible, biodiesel y biogas. En el caso de biodiesel se utilizan aceites vegetales, comúnmente soya y palma aceitera, aunque en años recientes ha incrementado el interés y valor por especies como *Jatropha*, ricino o higuierilla y colza (Dagar y Tewari,2018).

Una de las características y ventajas de la higuierilla (*Ricinus communis* L.) es su tolerancia a la sequía, por lo que permite su cultivo en ambientes semiáridos donde hay pocas alternativas de uso agrícola, aunque su productividad es mejor si el agua está disponible en mayor cantidad, en caso de escasez acentuada deja de producir. Por otro lado, es una especie exigente en cuanto a fertilidad de suelo, razón por la cual se debe prestar atención y recursos al manejo de la fertilización, ya sea orgánica o mineral, para que se puedan obtener los mejores rendimientos. También es una planta que tiene la capacidad de utilizar eficientemente los nutrientes aplicados, aún con baja disponibilidad de agua en el suelo. Esta situación no se observa en otras especies (Soares y Souza,2005), por esta razón se han establecido plantaciones en zonas áridas de India, Brasil y África (Sausen *et al.*,2010).

En México, existe interés en validar la higuierilla en siembras comerciales. A pesar de esto, en gran parte del país se carece de recomendaciones para su cultivo, uso de la planta y sus residuos (Domínguez *et al.*,2015). También son insuficientes los estudios agronómicos y las características del crecimiento, así como el desarrollo de genotipos de alto rendimiento, particularmente en las zonas áridas. Al considerar las ventajas de las plantaciones energéticas y tomando en cuenta que las zonas áridas-semiáridas de este país ocupan más de la mitad del territorio (Medrano,2012), el cultivo de higuierilla resulta una opción viable a implementar, tanto en plantaciones comerciales como en agroforestales.

Por ello, el objetivo de esta investigación se centra en evaluar el potencial productivo de higuierilla (*Ricinus communis* L.) a través de la cuantificación de

variables de crecimiento y rendimiento, bajo dos tratamientos de nutrición, con la finalidad de valorar su viabilidad como especie agroforestal de zona árida.

Estructura de la tesis

El **capítulo 2** presenta una revisión de literatura respecto a los aspectos generales del cultivo de higuera que incluyen su situación en el mundo y México, características y requerimientos, importancia económica y uso como cultivo alternativo.

El **capítulo 3** consta de un artículo de revisión sobre estudios de nutrición vegetal y sus efectos en el crecimiento y productividad del cultivo de higuera.

El **capítulo 4** presenta un artículo científico consistente en la evaluación de la producción de dos variedades en cuanto a componentes de crecimiento y rendimiento sometidas a diferentes tratamientos nutritivos, basados en análisis nutricionales edáficos y foliares.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el potencial productivo de higuera (*Ricinus communis* L.) a través de la cuantificación de variables de crecimiento y rendimiento, bajo dos tratamientos de nutrición, con la finalidad de valorar su viabilidad como especie agroforestal de zona árida.

Objetivos específicos

1. Evaluar el estado nutrimental de los sistemas productivos de dos variedades de higuera a través de diagnóstico nutricional foliar y edáfico con la finalidad de formular tratamientos de fertilización adecuados a cada uno.

2. Evaluar la productividad a través de la cuantificación de variables de crecimiento y rendimiento de higuerrilla para determinar el mejor tratamiento de nutrición aplicable a una zona árida.

1.2 HIPÓTESIS

La higuerrilla es un cultivo que puede ser altamente productivo en zonas áridas si se aplica un tratamiento nutritivo balanceado de macronutrientes y micronutrientes en función de las condiciones nutricionales del suelo y las necesidades nutritivas del cultivo.

1.3 LITERATURA CITADA

- Dagar, J. C., & Tewari, V. P. (Eds.). (2018). *Agroforestry: anecdotal to modern science*. Springer.
- Domínguez-Martínez, P. A., Ocampo, R. J., Villanueva, C. F. G., & Serna, R. R. (2015). Pasta de higuerrilla como suplemento de bajo costo para novillos en condiciones de pastoreo. VI Congreso Internacional de Manejo de Pastizales. Durango, septiembre, 2015, pp 69-71 ISBN: 978-607-503-183-5
- Medrano, F. G. (2012). Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Instituto Nacional de Ecología Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa, 3ª edición. Madrid, España. pp.797-817
- Sausen, T. L., & Rosa, L. M. G. (2010). Growth and carbon assimilation limitations in *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) under soil water stress conditions. *Acta Botanica Brasilica*, 24(3), 648-654.
- Soares L. y de Souza, T.M. (2005). *Generalidades sobre el cultivo de higuerrilla*. Embrapa.Brasil.
- UNDDD (2010). Recuperado 10 de junio de 2020, de UNDDD. Decenio de las Naciones Unidas para los desiertos y contra la desertificación: https://www.un.org/es/events/desertification_decade/value.shtml

2 CULTIVO DE HIGUERILLA

2.1 Situación del cultivo de higuera

El cultivo de ricino o higuera se considera de valor comercial, principalmente por la extracción de aceite de las semillas que se emplea para la fabricación de jabones, lubricantes y recubrimientos, entre otros (Patel *et al.*,2016). Sin embargo, actualmente, el ricino se considera un cultivo multipropósito de interés internacional ya que además del aceite, se pueden obtener otros biomateriales valiosos como, ácido ricinoleico, ricinoleilsulfato, grasa de litio (hidroxiestearato de litio), ácido 10-undecilénico, 11-amino-undecanoico ácido (3) y es la única fuente comercial de hidroxilado ácido graso (Kiran y Prasad,2017).

2.1.1 Cultivo de higuera en el mundo

De acuerdo a FAO (2018), el área global sembrada con higuera es de 1.3 millones de hectáreas. El 96% de la producción mundial se concentra en India (1198000 t), Mozambique (85436 t), China (27000 t), Brasil (14224 t), Myanmar (12068 t), Etiopía (10930 t), Vietnam (7023 t), Paraguay (7000 t) y Sudáfrica (6695 t). Otros países productores con menor volumen de producción son Angola, Ecuador, Tanzania, Kenya, Madagascar, Indonesia, Siria, Haití, Cambodia, Pakistan, Uganda, Sudan, Tailandia, Benin, México, aunque de acuerdo a FAO es un cultivo presente en 33 países (FAOSTAT,2018).

En el caso de India, la producción se concentra principalmente en una pequeña región geográfica llamada Gujarat en el oeste del país. Esta región es favorable debido a su método de cultivo intensivo en mano de obra y a las condiciones climáticas subtropicales, con lo que han logrado una alta eficiencia de producción y calidad deseada del aceite (Patel *et al.*,2016).

En todos los países productores, este cultivo tiene remarcable importancia social por emplear grandes cantidades de mano de obra de trabajadores rurales, para siembra, control de malezas y cosecha. En promedio, se emplea un trabajador rural por cada cuatro hectáreas de siembra (Soares y Souza,2005).

La producción mundial de semillas de ricino ha ido en aumento, pues se obtuvo un incremento de 12.3 mil toneladas anuales entre 2000 y 2009. En ese período, India fue responsable del 54.0% y China del 23.4% de la semilla de ricino producidas en el mundo. La importancia comercial del aceite de ricino radica en que a pesar de que representa solo el 0.15% de la producción mundial de aceites vegetales, el consumo mundial de este producto ha aumentado más del 50% durante los últimos 25 años, pasando de aproximadamente 400,000 toneladas en 1985 a 610,000 toneladas en 2010 (Severino *et al.*,2012).

La mayoría del crecimiento del consumo entre 2000 y 2009 se produjo en la Unión Europea y China. En la Unión Europea (incluidos los 27 estados miembros), el consumo de aceite de ricino aumentó de 88 a 127 mil toneladas y en China de 40,000 a 240,000 toneladas. Estados Unidos tuvo un crecimiento moderado en el consumo, mientras que el uso disminuyó en Japón y Brasil. Algunas reducciones en el consumo anual en este mismo lapso de tiempo, ocurrieron durante los períodos de recesión cuando disminuyó la producción industrial. Sin embargo, en todo el mundo, el consumo de aceite de ricino aumentó a una tasa de 7.32 mil toneladas por año. En general, la tendencia de la tasa de producción de aceite de ricino no se considera suficiente para cumplir con lo previsto por el aumento de la demanda (Severino *et al.*,2012). En este mismo periodo, los países de la Unión Europea fueron los principales importadores de aceite de ricino. Su importación aumentó 18.1% en el período de 2003 a 2010. Mientras tanto, China aumentó las importaciones de aceite de ricino en un 592%, y se convirtió en el principal importador del mundo. En Estados Unidos, las importaciones aumentaron un 16.2% mientras que en Japón se redujeron en un 42.4%. A pesar

de la importante producción nacional, Brasil ha importado cantidades significativas de aceite de ricino desde 2007 (Severino *et al.*,2012).

El precio que reciben los agricultores por la producción de semillas de ricino ha sido altamente volátil y ha mostrado un amplio rango de variación. Durante el período entre 2002 y 2008, el precio de la bolsa de 60 kg de semilla de ricino, en la principal región productora de Brasil (Irecê, Bahia), varió desde US \$ 10.89 hasta US \$ 53.04, teniendo un precio que va de US \$ 0.18 a US \$0.884 por kg. Incluso en un intervalo de 30 días, se registraron aumentos de 34.2% o caídas de 29.4%. Por lo general, los precios suelen ser más bajos en julio durante la cosecha y más altos en octubre (Severino,2009). La volatilidad de los precios del ricino es el resultado de varios factores, donde se involucra la demanda. Ésta es inelástica y ha sido un factor primario por el que leves cambios en el suministro de aceite de higuera pueden desencadenar amplias variaciones de precios. (Severino *et al.*,2012). Otro factor, es que debido a que la mayor parte de la producción proviene de regiones semiáridas con patrones erráticos de lluvia, los rendimientos reales de cosecha son impredecibles. También, el mercado relativamente pequeño de ricino hace que el cultivo sea extremadamente susceptible a la especulación (Vakil,2005).

2.1.2 Cultivo de higuera en México

En México, la producción de plantas de higuera se centra principalmente en la medicina herbal, con muy poca producción de semillas. Además, la higuera a menudo se considera como una maleza. Este es uno de los motivos por el que su explotación no está muy extendida en el país (Armendáriz,2012). Sin embargo, México cuenta con condiciones agroecológicas propicias para el cultivo de higuera con una superficie de 3,940,991 hectáreas, catalogada como de muy buen potencial, y se ubica mayormente en las entidades del Sur Sureste como Oaxaca, Veracruz y Chiapas, entre otros (Díaz,2009).

Debido a lo anterior, el INIFAP se ha encargado del estudio de genotipos con potencial productivo, y actualmente dispone de 375 genotipos provenientes de los estados de Chiapas, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Veracruz y Yucatán. De este germoplasma se han seleccionado algunas variedades para realizar estudios de su potencial productivo. En un trabajo de investigación realizado en Michoacán, se evaluaron 16 variedades; la variedad INIFAP-RIRIC-C234 obtuvo el mayor rendimiento de 1072.9 kg ha⁻¹ y un porcentaje de aceite en semilla de 49.27% (Rico *et al.*,2011).

A pesar de ello, se carece de recomendaciones para su cultivo, uso de la planta y sus residuos en gran parte del país y falta información básica, como el comportamiento agronómico, así como en torno de las características del crecimiento y desarrollo de diversos genotipos, particularmente en las zonas áridas (Domínguez *et al.*,2015).

2.2 Características del cultivo de higuera

2.2.1 Descripción botánica

La higuera (*Ricinus communis* L.) pertenece a la familia Euphorbiaceae. Es nativa de Etiopía y África tropical. La planta es herbácea anual arbustiva, ligeramente leñosa, con tallos y ramas huecas por dentro, de color verde claro a azul grisáceo, en ocasiones rojiza. Las flores se encuentran en el tallo y ciertas otras partes de la planta de ricino. La inflorescencia es una panícula erecta y terminal de cimbras (cimbras en pánico). Las flores suelen ser unisexuales y monoicas. Las flores estaminadas y pistiladas nacen en la misma inflorescencia. El ricino tiene un sistema de apareamiento mixto que genera descendencia autofecundada y cruzada.

En términos generales, es una planta de día largo, aunque adaptable, con menos rendimientos, a una amplia gama de fotoperiodos (Naik, 2018). El fruto de la planta de higuera es una cápsula trilobular que contiene una semilla por lóbulo (tricoco), de 1.5 a 2.5 cm de largo, exteriormente está recubierto por espinas o

púas no punzantes, cortas y gruesas (equinado); tiene tendencia a la dehiscencia.

La semilla es oval, de tamaño variable entre 5 y 20 mm dependiendo de la variedad. El tegumento es coriáceo, liso, lustroso, rematada marmoleado por una excrecencia, tóxico por la presencia de ricinina (IUPAC: 4-metoxi-1-metil-2-oxo-piridine-3-carbonitrilo). Su germinación es epigeal (Gómez,2006).

Morfología

Las plantas de higuera pueden convertirse en perennes grandes que a menudo se convierten en árboles pequeños, denominadas variedades gigantes; otras se comportan como anuales enanas de corta duración; también existen variedades de portes distintos entre estos extremos (Salihu y Apuyor,2014).

Las variedades gigantes tienen una raíz principal grande y bien desarrollada que puede alcanzar varios metros de largo y tiene laterales y raíces secundarias sustanciales. Las raíces de tipo enano siempre reflejan la peculiaridad de una variedad particular o sistema cultural y muestran una raíz principal menos aparente. En las zonas áridas donde la planta solo tiene precipitaciones para la subsistencia, el crecimiento aéreo tiende a ser más lento en relación con el crecimiento de las raíces que en condiciones más favorables.

El sistema de raíces bien desarrollado permite que la planta aproveche al máximo la humedad del suelo, un factor importante en la resistencia de las plantas a la sequía. El sistema de raíces muestra una fuerte correlación con el rendimiento porque permite que el cultivo adsorba los nutrientes y el agua necesarios para la acumulación adecuada de biomasa. La plantación de ricino en un suelo blando y suelto genera un desarrollo adecuado de la raíz, lo que a su vez contribuirá a un mejor rendimiento.

En términos generales, el ricino crece a una velocidad increíblemente rápida, si están situados a pleno sol y provistos de abundante fertilizante y agua (Saliyu y Apuyor,2014).

Hábito de crecimiento

El desarrollo general de la planta depende de la variedad y de las condiciones ambientales bajo las cuales fue cultivada (Weiss,1983); sin embargo, en la higuera se han identificado fases de crecimiento correlacionadas con el orden en que la planta emite las distintas inflorescencias durante su ciclo, por lo que, se distinguen racimos de orden primario, secundario, terciario, entre otros (Kumar *et al.*,1997).

El tallo principal crece verticalmente, sin ramificación, hasta la emisión de la primera inflorescencia, tipo racimo; por debajo de la cual, se genera una ramificación, donde ramas laterales se desarrollan a partir de las yemas axilares, ubicadas inmediatamente en la parte inferior de la inflorescencia principal. Todas las ramificaciones de 2do, 3er y 4to órdenes presentan crecimiento determinado, finalizando siempre en una flor, lo que genera varios estratos de flor-fruto, conocidos como órdenes de racimo.

Fenología

Debido al desarrollo de variedades y la plasticidad genética de la higuera, las etapas fenológicas varían del tipo de variedad y de las condiciones agroclimáticas, sin embargo, en términos generales, su fenología es la siguiente: Las plántulas emergen de 10 a 20 días después de la siembra. Las primeras flores se abren entre 40 y 70 días después de la siembra. La formación sucesiva de ramas e inflorescencias continúa a lo largo de la vida de la planta. Así, una planta produce flores en diferentes etapas de desarrollo. El período desde la

emergencia hasta la maduración varía de 140 a 170 días. La maduración de los frutos a lo largo del racimo es desigual, el inferior madura antes que el superior, y en los tipos silvestres el período entre el primer y el último fruto maduro puede ser de varias semanas. Es una planta de vida relativamente corta, que vive por dos o tres años (CABI,2019).

2.2.2 Generalidades del cultivo de higerilla

Es un cultivo resistente que sobrevive en una amplia gama de condiciones ecológicas. Básicamente, la higerilla crece en regiones tropicales y en climas templado-cálidos. Sin embargo, es capaz de desarrollarse en casi cualquier lugar donde haya suelo disponible. Es básicamente una planta de día largo, pero es adaptable con menos rendimientos a una amplia gama de fotoperiodo. En términos generales, el ricino florece normalmente en un día corto de 12 horas (Salihu y Apuyor,2014).

Requerimientos agroclimáticos

Clima y agua

La higerilla se considera un cultivo tropical, sin embargo, Falasca *et al.* (2012) han registrado desarrollo de ricino en diversos climas, desde el bosque húmedo templado hasta el bosque lluvioso templado, pasando por el desierto tropical hasta el bosque mesófilo, tolerando precipitaciones de los 200 mm hasta los 4,290 mm al año. Sin embargo, las precipitaciones óptimas para su desarrollo se han registrado en un rango de 600 a 700 mm al año. De acuerdo con Amorim *et al.* (2001), precipitaciones de 700 mm proporcionan rendimientos superiores de 1.5 t ha⁻¹ de grano, logrando llegar hasta las 5 t ha⁻¹ bajo condiciones de irrigación; donde la mayor exigencia de agua en el suelo ocurre en la fase del inicio de la etapa vegetativa. El exceso de humedad es perjudicial en cualquier

fase del ciclo del cultivo, siendo más crítico en los estados iniciales de plántula y durante la formación y llenado del fruto (Weiss,1983).

La temperatura óptima que requiere se encuentra entre los 20 y 25°C, durante 4 a 6 meses y baja humedad relativa, aunque, puede crecer bien de 26 a 41°C. Por encima de los 41°C, aún por un corto período de tiempo, las altas temperaturas causan aborto de flores, reversión sexual, disminuyen el contenido de aceite y el número de semilla, efecto que es más resaltante en ambientes con déficit hídrico. También se ha demostrado que el contenido de aceite en la semilla es proporcional al calor acumulado por la planta durante todo su ciclo, y aunque se adapta con facilidad a las regiones subtropicales, a bajas temperaturas, la planta reduce la calidad del aceite y la producción de semillas (Amorim *et al.*,2001).

La temperatura y la humedad relativa afectan de forma directa la liberación y viabilidad del polen, el cual requiere condiciones óptimas entre los 26 y 29°C, con una humedad del 60%. Temperaturas inferiores a los 15°C retrasan su liberación y por debajo de los 10°C, no hay producción de semilla, por causa de la pérdida de viabilidad del polen. Los ambientes húmedos, generan pérdida del vigor y viabilidad de éste, el cual puede incluso germinar dentro de las anteras, antes de su apertura (Weiss,1983).

Este cultivo desarrolla bien en altitudes que varían desde el nivel del mar hasta los 2,300 m, se recomienda su siembra en áreas que van de entre los 300 y 1500 msnm, ya que temperaturas menores de 10°C pueden generar diversos problemas como los expuestos anteriormente (Amorim *et al.*,2001).

Suelo

El ricino crece en todo tipo de suelos, pero prefiere suelos bien drenados, desarrollándose mejor en suelos de margas arenosas. Es un cultivo que se desarrolla en pH en un rango de 4.5 a 8.3, aunque el rango óptimo de crecimiento es de 6 a 7.3 (Salihu y Apuyor,2014).

Manejo de cultivo

Variedades

En la fase inicial del cultivo de higuera, se prestó atención a las variedades ornamentales de ricino con caracteres cualitativos atractivos destinadas a su uso en parques y lugares públicos, mientras que en la etapa posterior se hizo mayor hincapié en las variedades destinadas a la producción de aceite. En EE. UU, las variedades de ricino incluyen: Hale, una variedad de ricino enano (1.2 m) con varios racimos, y Brigham, una variedad de ricino con contenido reducido de ricina.

En Brasil, BRS Nordestina y BRS Energia se desarrollaron para la cosecha manual. GCH6 y GCH5 son algunas de las variedades en India, mientras que Abaro y Hiruy se desarrollaron en Etiopía. En Nigeria, hay líneas prometedoras de ricino que esperan ser liberadas en Badeggi (Salihu y Apuyor,2014).

En México, se dispone de 375 genotipos originarios de los estados de Chiapas, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Veracruz y Yucatán resguardados por INIFAP (Rico *et al.*,2011).

El genotipo de cada variedad es muy variable, por lo que se parecen poco entre sí. El tipo de variedad determina en gran medida su crecimiento y apariencia, por lo que influye en el hábito de crecimiento, el color del follaje, los tallos, el tamaño y el color de las semillas, así como el contenido de aceite (Salihu y Apuyor,2014).

Densidad de población

Se utilizan densidades de población entre las 2000 y 3000 plantas por hectárea. De acuerdo a Franco (2008), en caso de utilizar semilla criolla se necesitan alrededor de 5 kg de semilla por hectárea, mientras que en el caso de variedades de porte bajo o híbridos se requieren de 20 a 25 kg de semilla por hectárea.

Por otro lado, Camacho *et al.* (2007) reportaron densidades de siembra de 13,333 plantas ha⁻¹ sembradas con distancia entre surcos de 1.5 m y 0.5 m entre plantas para cultivares de porte bajo; en tanto que para cultivares de porte alto se reportan densidades de 3,333 plantas ha⁻¹ sembrando en esquemas de 3m x 1.5m. En otro estudio (Restrepo *et al.*,2010) reportaron densidades bajo el esquema de 3m x 1m y 3m x 0.8m en bloques comerciales obteniendo valores de beneficio-costos cercanos a 1.5. En cultivo no asociado, Leal y Jiménez (2009) reportaron la siembra de la higuera a distanciamientos de 1m x 1m.

Se han descrito diversos tipos de siembra, sin embargo, la que se emplea más en el mundo es la siembra a 3 m entre surcos y 1.5 m entre plantas, colocando de 2 a 5 semillas por punto de siembra; una vez emergidas las plantas, se recomienda hacer un raleo, quitando las plantas hacia los lados, para evitar el daño al sistema radicular de la planta destinada a la producción (Samayoa,2007). Debido a que la higuera es un cultivo perenne, la primera cosecha del cultivo se realiza según la región climática donde se desarrolle. En climas cálidos la cosecha se da al cuarto mes después de la siembra, en climas templados alrededor del quinto mes y en regiones frías al sexto mes (Franco,2008).

Fertilización

El cultivo de ricino requiere suelos fértiles y bien aireados. Cantidades insuficientes de nitrógeno resultan en una reducción en el rendimiento de semilla, mientras que cantidades excesivas de este elemento resultan en un crecimiento

vegetativo robusto y en consecuencia una baja producción de semillas. Es así, que los requerimientos de nitrógeno ideales deben ser regulados y de preferencia derivados del contenido de materia orgánica. En términos generales, el ricino requiere la misma cantidad de nutrientes que otros cultivos de baja demanda de nutrientes (Salihu y Apuyor,2014).

Por otro lado, Severino *et al.* (2012), indican que el número de racimos y el número de semillas, son dos factores que influyen directamente en el rendimiento de grano. En el caso de la higuera el número de ramas presenta la posibilidad de tener mayor número de inflorescencias y por consiguiente mayor cantidad de cápsulas y semillas. La expresión de estos componentes debería ser influenciado por el manejo nutricional.

En este sentido, es importante generar programas de fertilización adecuados a la variedad y características de los suelos. Si no se brindan los nutrientes en las cantidades necesarias, aparecen síntomas de deficiencias y de no corregirse estas deficiencias, el rendimiento y calidad de aceite resultan afectados negativamente. Los síntomas de deficiencia nutrimental de los elementos más importantes en higuera son los siguientes (Severino,2009):

Deficiencia de Nitrógeno: Las hojas más viejas o inferiores de la planta son las primeras afectadas, después los síntomas se generalizan a toda la planta; se torna de color verde claro; las hojas inferiores se tornan amarillas o a un color marrón claro; el tallo se vuelve corto y delgado. Si la deficiencia ocurre en una etapa posterior de crecimiento, el tallo suele ser de color rojizo.

Deficiencia de fósforo: Las hojas más viejas o inferiores de la planta son las primeras afectadas, después los síntomas se generalizan a toda la planta, ésta se torna anormalmente verde oscuro, los entrenudos se vuelven alargados, las hojas presentan manchas redondas, a menudo se desarrollan colores rojos y morados en la parte inferior de las hojas.

Deficiencia de magnesio: Las hojas más viejas o inferiores de la planta son las primeras afectadas, aunque los efectos se localizan más en las hojas inferiores que se tornan cloróticas o moteadas, las venas permanecen verdes. Si la deficiencia continúa, las hojas terminales también se vuelven moteadas, los márgenes de las hojas se arquean hacia arriba y los tallos se vuelven delgados.

Deficiencia de Potasio: Las hojas más viejas o inferiores de la planta son las primeras afectadas, aunque los efectos se manifiestan en las hojas inferiores, pues se vuelven cloróticas; las puntas y los márgenes se vuelven color verde claro, luego amarillo y finalmente marrón. En ocasiones, la hoja presenta manchas similares a lesiones.

Deficiencia de calcio: Las hojas más nuevas o terminales son las primeras afectadas. Los pecíolos se doblan y rompen. Las hojas terminales contienen manchas similares a lesiones que se expanden, finalmente muere la yema terminal.

Deficiencia de hierro: Las hojas más nuevas son las primeras afectadas. Las hojas jóvenes se vuelven de color claro, luego amarillas y finalmente blancas. Las hojas más viejas permanecen verdes.

Plagas

La planta de higuera es atacada por multitud de plagas de insectos, muchos de ellos son insectos chupadores pertenecientes al orden Miridae. La perforación de la inflorescencia en desarrollo durante la alimentación al chupar insectos, especialmente Miridae, es suficiente para causar la muerte o la abscisión prematura de las cápsulas. Muchas de las principales plagas del ricino también dañan otros cultivos tropicales comunes, y cuando se planta el ricino en la vecindad de estos cultivos, el ricino se vuelve más propenso a ser atacado por las plagas. Las prácticas químicas y culturales apropiadas se utilizan en el control

de las plagas de higuera. Sin embargo, el efecto del tiempo adecuado de siembra en relación con la lluvia es más importante que la protección de los cultivos contra estas plagas (Salihu y Apuyor,2014).

En México, las plagas que más han reportado ataques al ricino son *Diabrotica sp.* y chinche de encaje (*Leptodyctia sp.*), aunque entre los insectos más comunes para los que es atractiva la higuera se encuentran los trips (*triph sp.*), gusano bellotero (*Heliothis virescens*), gusano peludo (*Estigmene acrea*), ácaros (*Tetranychus sp.*), minadores de la hoja (*Liriomyza trifolii*) (Rico *et al.*,2011).

Para el control de *Leptodyctia sp.*, se sugiere aplicar Malathion 500 a dosis de 1 L/ha, realizando dos aplicaciones durante el ciclo de cultivo. Para el resto de insectos, se recomienda controlar los cuales se pueden controlar con Dipterex 80% a dosis de 1 kg ha⁻¹ en 400 L ha⁻¹ de agua (Rico *et al.*,2011).

Enfermedades

Se informa que la planta de ricino sufre graves pérdidas debido a muchas enfermedades causadas por hongos y bacterias. Existen varios patógenos conocidos por infecciones en ricino, algunos de éstos, son transmitidos por semillas. Las enfermedades del follaje parecen tener poco efecto en el rendimiento final a menos que defolien la planta hasta el punto de afectar el crecimiento o se transmitan a las cápsulas. Las enfermedades de la cápsula causan más daño económico y en algunas áreas es un factor limitante para el ricino comercial (Rico *et al.*,2011).

En México, la condición climática cálida seca, es un factor limitante de los problemas fitosanitarios. Sin embargo, en zonas con humedad relativa alta, la incidencia de enfermedades se incrementa. En suelos con drenaje deficiente, la raíz es susceptible a pudriciones ocasionada por los hongos *Fusarium ricini* o *Phymatotrichum omnivorum*. Otros fitopatógenos son *Alternaria ricini*, *Fusarium*

oxysporium, *Xanthomonas ricinicola*, *Sclerotinia ricini*, y *Cercospora ricinielala* (Robles,1980). Para el caso de *Fusarium spp.* y *Alternaria spp.* se recomienda:

- La rotación de cultivos
- La eliminación de los restos de cultivo
- El tratamiento químico de las semillas para evitar la contaminación de nuevas áreas: Para ello, se puede utilizar por lo menos un fungicida sistémico de acción específica, otro sistémico de acción contra los oomicetos y otro protectante. En observaciones realizadas en grandes plantaciones, se constató que la mezcla de carboxin + thiran 200 SC, en dosis de 250 ml del producto comercial para 100 kg de semillas (que corresponde a 50 ml de cada ingrediente activo), controló satisfactoriamente los hongos asociados a las semillas de ricino, reduciendo la marchitez de las plántulas y el riesgo de transmisión de patógenos de la semilla a la planta adulta. Este se considera el tratamiento más eficaz (Soares, Milai y De Macêdo,2007).

Malezas

La presencia de maleza en el cultivo dificulta las labores por lo tanto es importante que se controlen, sobre todo, dentro de los primeros 30 días ya que en este período es cuando el cultivo es más susceptible. Puede realizarse con métodos mecánicos o químicos.

Control mecánico. Se elimina mediante una o dos labores con cultivadora de tracción animal o mecánica a los 30 días de arraigado el cultivo.

Control químico. Otra forma de control es con el uso de herbicidas. El herbicida más utilizado para es el glifosato a dosis de 2 L ha⁻¹ en aplicación dirigida a la maleza- Se requiere manejar un volumen de agua de 400 L ha⁻¹ y realizar la aplicación por la mañana y sin presencia de viento (Rico *et al.*,2011).

Rendimientos

El rendimiento de semilla de higuera es variable en todos los sistemas productivos del mundo. En la mayoría de estas regiones, se han logrado incrementos debido a la implementación de mejoras agronómicas a través de la implementación de tecnologías como son la selección de cultivar apropiado combinado con el uso de semillas de buena calidad, fecha de siembra apropiada, riego, fertilización del suelo, manejo de malezas, plagas y enfermedades, población de plantas optimizada, cosecha mecánica y manejo poscosecha. La optimización de la población de plantación es una práctica económica que puede aumentar significativamente el rendimiento de semillas de higuera. Sin embargo, la población óptima de plantas varía según el genotipo, las condiciones ambientales y las prácticas agrícolas. Debido a que las condiciones ambientales no son constantes, no existe una densidad individual de la planta que se pueda recomendar ampliamente para el ricino (Severino *et al.*,2012).

En este sentido, en distintas instituciones internacionales, se han realizado estudios en distintas condiciones ambientales sobre los componentes del rendimiento de semilla de ricino que generan recomendaciones para lograr una óptima producción. De estos estudios, se ha podido concluir que las correlaciones negativas entre los componentes de rendimiento son muy frecuentes (Machado *et al.*,2009; Rafael *et al.*,2013; Rivera y Hernández,2016). Algunos autores también indican que para la selección de variedades altamente productivas de higuera se debe tomar en cuenta el número de racimos y peso de fruto; la longitud de los racimos y peso de semillas (Machado *et al.*,2009 y Goytia *et al.*,2011).

Por otro lado, Severino *et al.* (2012), hace énfasis en que los investigadores deberían centrarse en determinar un rango de poblaciones de plantas que tengan como objetivo el mejor rendimiento a través de los años y las condiciones ambientales.

En México, la primera investigación respecto a rendimientos con higuierilla se realizó en 1962, en el Campo Experimental de Río Bravo, Tamaulipas del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), se evaluaron cuatro variedades enanas y se encontró que los mejores rendimientos de grano se lograron con Lynn (1 908 kg ha⁻¹) y Hale (1 888 kg ha⁻¹) (Robles,1980). A pesar de que no se han realizado tantas investigaciones al respecto, a lo largo de los años se ha generado información de interés para los productores de higuierilla adecuada para incrementar el rendimiento, así mismo, en algunos estados se ha impulsado su cultivo con acompañamiento técnico. Esta podría ser una razón por la cual se ha incrementado el rendimiento de higuierilla, ya que de acuerdo a los datos disponibles más actualizados de FAO (2018), México ocupa el número 25 en cuanto a toneladas producidas respecto al resto de países productores, sin embargo, también es el número 1 en rendimiento (2.7 t ha⁻¹), superando al doble a India, que es el principal país productor (1.3 t ha⁻¹) (FAOSTAT,2018).

2.3 Importancia económica de higuierilla

Es un importante cultivo de semillas oleaginosas con gran valor utilitario en los sectores industrial, farmacéutico y agrícola. Las semillas contienen entre 40% y 60% de aceite. Su aceite es único entre los aceites vegetales porque es la única fuente comercial de un ácido graso hidroxilado. La presencia de grupos hidroxilo y dobles enlaces en el ácido tericinoleico imparte propiedades químicas y físicas únicas sobre el aceite de ricino que hace que el aceite sea un material de extracción industrial vital.

En los últimos años, la demanda de aceite de higuierilla ha seguido aumentando en el mercado internacional, asegurada por más de 700 usos, que van desde medicamentos y cosméticos hasta biodiesel, plásticos y lubricantes. El aceite tiene ventajas sobre los aceites base de petróleo, especialmente a temperaturas altas y bajas debido a sus altos puntos de ebullición y bajo punto de fusión. Además de reducir los gases de efecto invernadero debido a su alto contenido

de aceite, produce un rendimiento de cultivo relativamente alto con un aporte relativamente bajo. En la parte oriental de Nigeria, las semillas de ricino se utilizan para preparar un condimento fermentado para alimentos llamado OGIRI (NCRI,2013).

2.3.1 Aceite de higuera en medicina y cosmética

El aceite de ricino es uno de los productos naturales que combaten varias enfermedades. Contiene ingredientes activos que lo hacen tomar una posición central en la producción de varios productos medicinales y cosméticos, como son los siguientes (Salihu y Apuyor,2014):

i) Enfermedades / trastornos de la piel: el aceite de ricino es muy efectivo cuando se trata el tratamiento de problemas de la piel como quemaduras solares, acné, tiña, arrugas y líneas finas, piel seca y estrías. También previene infecciones como impurezas, forúnculos, pie de atleta y picazón crónica. El aceite es un buen humectante para la piel y desinfectante de heridas.

ii) Tratamientos para el cabello: el aceite de ricino se mezcla con aceite de coco y almendras para iniciar el crecimiento del cabello, engrosar las cejas y las pestañas. El aceite aumenta la circulación sanguínea a los folículos, lo que lleva a un crecimiento más rápido del cabello. El aceite también tiene ácidos grasos esenciales omega-6, responsables de un cabello saludable. El aceite también se usa para la corrección de parches calvos y el oscurecimiento del cabello.

iii) Otros usos medicinales: el aceite de ricino es un gran aditivo y potente laxante que sirve como remedio para enfermedades como la esclerosis múltiple, la enfermedad de Parkinson, la parálisis cerebral, el dolor por reumatismo, problemas gastrointestinales, trastornos menstruales, migrañas, manchas de la edad, abrasiones de la piel e inflamación.

2.3.2 Higuera en la agricultura

Se ha generado investigación en torno a los siguientes aspectos (Salihu y Apuyor,2014):

i. Harina de ricino y cáscara para alimentación animal: La harina de ricino desintoxicada puede usarse como alimento. Por método de ebullición podría agregarse hasta 100 g kg^{-1} de dietas de acabado en pollos de engorda sin efectos nocivos. Por autoclave puede reemplazar hasta el 67% de la harina de soya en las raciones de ovejas.

Por otro lado, la cáscara es un subproducto de bajo valor que se puede utilizar como alimento para rumiantes. Otro ejemplo es un experimento donde se evaluó una mezcla de hojas de ricino que contenía una cantidad considerable de fragmento de semilla (60 g kg^{-1}) para alimentar a cabras lecheras; cuando el heno fue reemplazado por cáscaras de ricino, hubo una reducción (27%) en la leche, pero un aumento (28%) en la concentración de lípidos. Las cáscaras no fueron sometidas a ningún proceso de desintoxicación y las cabras no presentaron síntomas de toxicidad.

ii. Harina de ricino como fertilizante orgánico: El uso de harina de ricino como fertilizante orgánico es prometedor debido a su alto contenido de N, mineralización rápida y efectos anti-nematodos. La harina de ricino de mineralización se evaluó 7 veces más rápido que el estiércol bovino y 15 veces más rápido que el bagazo de caña de azúcar. Se ha informado que la harina de ricino promueve el crecimiento en plantas de trigo y ricino. Las cáscaras de ricino también pueden usarse como fertilizante orgánico, pero deben mezclarse con otros materiales orgánicos ricos en N para proporcionar un mejor equilibrio de nutrientes para el crecimiento de las plantas.

iii. Fitomejorador y biorremediador: El ricino es una especie que interactúa con la comunidad microbiana de la rizosfera y juega un papel importante en la biodisponibilidad de nutrientes del suelo ya que promueve el reciclaje y la

solubilización de nutrientes minerales, por lo que se considera como un candidato adecuado para la fitoestabilización de sitios co-contaminados (orgánicos e inorgánicos), metales pesados y policíclicos hidrocarburos aromáticos (HAP) (Kiran y Prasad,2017).

2.3.3 Aceite de ricino en biodiesel

Los biocombustibles se están convirtiendo en un gran negocio a medida que los países de todo el mundo buscan disminuir la dependencia del petróleo, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sector del transporte y apoyar los intereses agrícolas. La producción de biodiesel a partir de aceite de ricino es técnicamente factible. La principal limitación ha sido el alto precio pagado por el petróleo como aceite industrial debido a la alta demanda de las industrias químicas para fabricar productos de muy alto valor. El biodiesel producido a partir de aceite de ricino tiene una ventaja notable con respecto a la lubricidad debido a su alto valor energético y sus propiedades positivas de combustible (Salihu y Apuyor,2014).

2.3.4 Otros usos industriales de ricino

El aceite de ricino se puede usar como poliol de base biológica en la industria del poliuretano. En la industria alimentaria, el aceite de ricino se usa en aditivos alimentarios, aromatizantes, dulces y como inhibidor de moho. El aceite también se puede usar para evitar que el arroz, el trigo y las legumbres se pudran. El aceite también es una materia prima importante en las industrias de pinturas y nylon. La cera de ricino producida por hidrogenación se usa en esmaltes, condensadores eléctricos, papel carbón y como lubricante sólido (Salihu y Apuyor,2014).

2.4 Higuierilla como cultivo alternativo

La gran mayoría de cultivos de higuierilla son monocultivos de gran escala comercial, aunque en algunos lugares se ha empleado como componente agroforestal. En algunas regiones de Colombia, los productores la cultivan como especie de uso múltiple, la utilizan como repelente para proteger cultivos debido a los exudados que produce, también emplean la semilla y su aceite para uso medicinal (Muñoz, Calvache y Yela,2013). En Costa Rica se han desarrollado proyectos de investigación sobre cultivos bioenergéticos alternativos. Uno que destaca es el de Elizondo *et al.* (2019), donde el cultivo principal fue coyol (*Acrocomia aculeata*), asociado con higuierilla (*Ricinus comunis* L.) con un tiempo de cosecha esperado de 8 meses y tempate (*Jatropha curcas*) con un tiempo esperado de 2 años de cosecha. De forma paralela, se sembró maíz (*Zea mays*) durante el establecimiento de los cultivos, con la finalidad de obtener productos a corto plazo para consumo humano y pasto para alimento animal.

En el caso de México se han realizado algunas propuestas de cultivo de higuierilla en sistemas agroforestales: En Colima se ha propuesto el desarrollo de sistemas silvopastoriles (Palma-García,2018). Por otro lado, Sánchez-Hernández *et al.* (2012), propusieron el diseño de un sistema agroforestal en los Valles Altos de Estado de México, el cual consiste en el cultivo de la higuierilla (*Ricinus communis* L.) en combinación con cultivos básicos (*Zea mays* y *Phaseolus vulgaris* L.) y forrajes (*Avena sativa* L. y *Vicia sativa*). Por último, en Oaxaca se comparó la rentabilidad de diferentes sistemas productivos tradicionales (maíz de temporal variedad criolla Bolita, maíz de temporal mejorado con tratamientos de fertilización, maíz con riegos de auxilio mejorado, frijol de temporal criollo) y un sistema alternativo de higuierilla intercalado con maíz (Rodríguez y Zamarripa,2013).

2.5 LITERATURA CITADA

- Amorim N., M. da S., Araujo, A. E., de., Beltrão, N. E. de M. (2001). Clima e solo. En: Pedrosa de A., M, Lima F., E. Ed. O agronegocio da mamona no Brasil. Embrapa Algodão, Campina Grande. pp. 62-76.
- Armendáriz V., J. (2012). Caracterización fenotípica y molecular de genotipos de higuierilla (*Ricinus communis* L.) para la producción de biodiesel (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León) Consultada en <http://eprints.uanl.mx/2545/1/1080256522.pdf>.
- CABI. (2019). Invasive Species Compendium. Recuperado 6 de agosto de 2020, de CABI. Association of International Research and Development Centers for Agriculture, en: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/47618#tobiologyAndEcology>
- Camacho V., L. Soares y M. del Águila. (2007). Evaluación de cuatro cultivares de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en la selva del Perú, Región Ucayali. III Congreso Brasileiro de Mamona.
- Díaz P. G. (2009). Potencial productivo de especies vegetales para la producción de insumos bioenergéticos en México. En: Memoria de la 55 Reunión Anual de la Sociedad del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales(PCCMCA). Campeche.
- Domínguez-Martínez, P. A., Ocampo, R. J., Villanueva, C. F. G., & Serna, R. R. (2015). Pasta de higuierilla como suplemento de bajo costo para novillos en condiciones de pastoreo. VI Congreso Internacional de Manejo de Pastizales. Durango, septiembre, 2015, pp 69-71 ISBN: 978-607-503-183-5
- Elizondo, E. B., Zúñiga, K. S., Serrano, E. A., González, I. M., Murillo, F. H., Hernández, G. V., & Valverde, E. A. (2019). Establecimiento de cultivos bioenergéticos como fuente de energías alternativas, mediante el desarrollo de materiales de siembra en tres sitios de Costa Rica. Tecnología en Marcha, 32(3), 25-34.
- Falasca, S. L., Ulberich, A. C., Ulberich, E. (2012). Developing an agro-climatic zoning model to determine potential production areas for castor bean (*Ricinus communis* L.). En: Industrial Crops and Products. 40: 185– 191.
- FAOSTAT (2018). Recuperado 10 de junio de 2020, de FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Franco G. (2008). Generalidades del Manejo del Cultivo. En: Higuierilla: Alternativa Productiva, Energética y Agroindustrial para Colombia. Navas A. (Ed.) Centro de Investigación La Selva-CORPOICA. Rionegro Antioquia, Colombia.
- Gómez S. D. (2006). Anteproyecto: Producción de biodiesel, metanol, etanol y subproductos para el autoconsumo de cooperativas de productores en Durango. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Campo Experimental Valle de Guadiana. Durango, México. 22p.

- Goytia-Jiménez, M. A.; Gallegos-Goytia, C. H. y Núñez-Colín, C. A. (2011). Relación entre variables climáticas con la morfología y contenido de aceite de semillas de higuierilla (*Ricinus communis* L.) de Chiapas. *Rev. Chapingo Ser. Cienc. Forest. Amb.* 17(1):41-48.
- Kiran, B. R., & Prasad, M. N. V. (2017). *Ricinus communis* L. (Castor bean), a potential multi-purpose environmental crop for improved and integrated phytoremediation. *The EuroBiotech Journal*, 1(2), 101-116.
- Kumar, P. V., Ramakrishna, Y.S., Ramana R., B.V., Victor U.S., Srivastava, N.N., Subba R., A.V.M. (1997). Influence of moisture, thermal and photoperiodic regimes on the productivity of castor beans (*Ricinus communis* L.). En: *Agricultural and Forest Meteorology*. 88: 279-289.
- Leal D., E. Jiménez. (2009). Caracterización Morfo de cinco ecotipos de higuierilla (*Ricinus communis*) en la ESPOL "Campus Gustavo Galindo".
- Machado, C. G.; Martins, C. C.; Silva, L. B. and Cruz, S. C. C. (2009). *Acta Scientiarum Agronomy*. (31):293-299.
- Muñoz, D. A., Calvache, D. A., & Yela, J. F. (2013). Especies forestales con potencial agroforestal para las zonas altas en el departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 30(1), 38-53.
- Naik B. (2018) Botanical Descriptions of Castor Bean. In: Kole C., Rabinowicz P. (eds) *The Castor Bean Genome. Compendium of Plant Genomes*. Springer, Cham.
- NCRI, (2013). *Castor Breeding, National Cereal. Research Institute, Nigeria. Annual Research Review*. Pp. 203-223.
- Palma-García, J. M. (2018). Utilización de *Ricinus communis* L.(higuierilla) en el desarrollo de sistemas silvopastoriles. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 22(1), 43-44.
- Patel, V. R., Dumancas, G. G., Viswanath, L. C. K., Maples, R., & Subong, B. J. J. (2016). Castor oil: properties, uses, and optimization of processing parameters in commercial production. *Lipid insights*, 9, LPI-S40233.
- Rafael-Rodríguez y Alfredo-Zamarripa. (2013). Competitividad de la higuierilla (*Ricinus communis*) para biocombustible en relación a los cultivos actuales en el estado de Oaxaca, México 1. <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/143921/2/12%20Higuierilla%20INIFAP-%20OAXACA.pdf>.
- Restrepo F.; G. Salazar y M. Aristizabal. (2010). Alternativas de producción de higuierillo (*Ricinus communis* L.) con fines de extracción de aceites para biodiesel y la industria oleoquímica como estrategia para el fortalecimiento del Departamento de Caldas. IV Congreso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, João Pessoa. Pp 1-6.
- Rico, P., HR, T. V., Teniente, O. R., González, Á. A., Hernández, M. M., Solís, B. J. L., & Zamarripa, C. A. (2011). Guía para cultivar higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Michoacán. Folleto técnico, (1).
- Rivera-Brenes, P. A. y Hernández-López, J. (2016). Evaluación de rendimiento y calidad de aceite de siete de *Ricinus communis*. Universidad de Costa Rica Alajuela. *Rev. Mesoam.* 27(1):183-189.

- Robles. S.R. (1980). Producción de oleaginosas y textiles. Ed.LIMUSA. México. Pag. 507-518.
- Salihu, B. Z.; Gana, A. K.; Apuyor, B. O. (2014). Castor oil plant (*Ricinus communis* L.): botany, ecology and uses. Int. J. Sci. Res., 5 (6): 1333-1340
- Samayoa M. (2007). Manual Técnico del Higuierillo. Ministerio de agricultura y ganadería El Salvador C.A. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, CENTA. Programa Agroindustrial.
- Sánchez-Hernández, R. F., Goytia-Jimenez, M. A., Uribe-Gomez, M., & Muñes-Colin, C. A. (2012). Diseño de un sistema agroforestal de higuierilla (*Ricinus communis* L.). In Embrapa Algodão-Resumo em anais de congresso (ALICE). CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 5.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 2.; FÓRUM CAPIXABA DE PINHÃO-MANSO, 1., 2012, Guarapari. Desafios e Oportunidades: anais. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2012.
- Severino, L. S., Auld, D. L., Baldanzi, M., Cândido, M. J., Chen, G., Crosby, W., ... & Machado, O. L. (2012). A review on the challenges for increased production of castor. Agronomy journal, 104(4), 853-880.
- Severino, L.S. (2009). Análise do preço diário da mamona entre 2002 e 2008 em Irecê, Bahia. Embrapa Algodão, Campina Grande, Brasília, Brazil.
- Soares L. y de Souza, T.M. (2005). Generalidades sobre el cultivo de higuierilla. Embrapa.Brasil.
- Soares L., Milai, M., y De Macêdo, N.E. (2007). Ricino. El productor pregunta, la Embrapa responde. Embrapa Información Tecnológica. Brasília, DF. 250 p.
- Vakil, S. (2005). Welcome address. In: Proceedings Castorseed Crop Prospect and Price Outlook, 3rd, Mumbai, India. 17 Feb. 2005. The Solvent Extractors' Assoc. of India, Mumbai, India. p. 7.
- WEISS, E.A. (1983). Oilseed crops. London: Longman, 660p.

3 FERTILIDAD DE SUELO Y NUTRICIÓN DE CULTIVO DE HIGUERILLA: UNA REVISIÓN

SOIL FERTILITY AND NUTRITION OF CASTOR CROP: A REVIEW

Marta Andrea Varguez-Urbano, Ranferi Maldonado-Torres

Universidad Autónoma Chapingo, km. 38.5 Carr. México–Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.

3.1 RESUMEN

El objetivo de este estudio fue revisar información científica disponible acerca de nutrición vegetal en higuierilla, para analizar sus efectos en el rendimiento productivo de semilla y producción de aceite. Los datos también se utilizaron como referencia para la construcción del Índice de Balance de Kenworthy y el Índice de Desviación del Óptimo Porcentual. Se revisaron 50 artículos provenientes de diferentes bases científicas de datos y se organizaron por tipo de nutrientes. Se observó que la información está concentrada en torno a la fertilización nitrogenada, en menor medida fertilización con fósforo y potasio. En cuanto a nutrición con micronutrientes casi no se han realizado estudios. Las variedades que más se han utilizado para realizar investigación científica son las desarrolladas en Brasil por la empresa Embrapa. Cada país ha desarrollado diferentes variedades con muy distintas características agronómicas, siendo las más productivas y con una mayor concentración de aceite las que se han desarrollado en Brasil.

Los niveles de nitrógeno que se han aplicado van desde 50 a 260 kg ha⁻¹, dependiendo del tipo de suelo y sus condiciones nutritivas. Se documentaron los mejores rendimientos con dosis de 120 kg ha⁻¹. A niveles muy altos de nitrógeno se observaron resultados negativos en los rendimientos. La combinación balanceada de macronutrientes y micronutrientes generaron los mejores resultados.

Palabras clave: fertilidad de suelo, macro y micronutrientes, balance nutricional, desarrollo de higuierilla, rendimiento y concentración de aceite

Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Marta Andrea Varguez Urbano

Director de tesis: Dr. Ranferi Torres Maldonado

3.2 SUMMARY

The objective of this study was to review available scientific information about plant nutrition of castor, to analyze its effects on the productive yield of seed and oil production. The data was also used as a reference for the construction of the Kenworthy Balance Index and the Deviation Index from the Optimal Percentage. 50 articles from different scientific databases were reviewed and organized by type of nutrients. It was observed that the information is concentrated around nitrogen fertilization, to a lesser extent fertilization with phosphorus and potassium. Regarding nutrition with micronutrients, almost no studies have been carried out. The varieties that have been used the most for scientific research are those developed in Brazil by the Embrapa company. Each country has developed different varieties with very different agronomic characteristics, the most productive and with a higher oil concentration being those that have been developed in Brazil.

The levels of nitrogen that have been applied range from 50 a 260 kg ha⁻¹ depending on the type of soil and its nutritional conditions. The best yields were documented with doses of 120 kg ha⁻¹. At very high nitrogen levels negative results were observed in the yields. The balanced combination of macronutrients and micronutrients generated the best results.

Keywords: soil fertility, macro and micronutrients, nutritional balance, castor development, yield and oil concentration

3.3 INTRODUCCIÓN

La nutrición vegetal es una de las principales tecnologías agronómicas empleadas para incrementar la productividad de los cultivos con elementos como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), que son esenciales para el crecimiento y producción de la semilla de higuera. La aplicación de distintos fertilizantes y dosis, con o sin riego, influye en el crecimiento de las plantas, la producción de semillas, y, en consecuencia, la producción de aceite de diferentes cultivares de ricino, que responden a estos factores de manera diferente (Chaves *et al.*,2011).

En el desarrollo de las plantas, el nitrógeno es el nutriente más limitante para muchos cultivos y a su vez el más requerido en términos de cantidad, por participar directamente en su metabolismo. Además, su dinámica nutrimental tiende hacia la pérdida en el sistema suelo-planta por lo cual su adecuado manejo se convierte en un desafío (Fageria y Baligar,2006). Por la razón anterior, el trabajo de investigación se ha centrado en los efectos de suministro de nitrógeno en el desarrollo de la planta de higuera y su rendimiento.

De acuerdo a Cannechchio y Freire (1958), el ricino exporta aproximadamente 80 kg ha⁻¹ de N por cada 2000 kg ha⁻¹ de semilla; y la cantidad de N absorbido a los 133 días de germinación alcanza los 156 kg ha⁻¹. Uno de los autores que ha trabajado más en nutrición para higuera es Severino. En la mayoría de sus trabajos de investigación ha encontrado un incremento en la productividad tras fertilizar con nitrógeno. En uno de ellos (2006), encontró que las plantas de ricino cv. BRS Nordestina fertilizadas con 100 kg ha⁻¹ de N tuvieron un 114% más de productividad que las no fertilizadas.

Otro trabajo interesante es el de Nakagawa y Neptune (1971), donde a través de curvas de absorción de nutrientes, encontraron que la higuera es una especie exigente en nutrientes. De acuerdo a sus resultados, para la producción de una

tonelada de granos, puede extraer hasta 40 kg de N; 9 kg de P₂O₅ y 16 kg de K₂O por hectárea, siendo el nitrógeno el principal elemento absorbido.

Esto último contrasta con los resultados de Pacheco *et al.* (2008), pues se encontró que el fósforo fue el elemento que se absorbió en mayores cantidades. Por otro lado, Barhoumi *et al.* (2010) informan que la fertilización nitrogenada, además de promover el crecimiento, también contribuye a reducir el efecto del estrés salino.

Sin embargo, otros autores también han considerado la importancia del resto de nutrientes para el mejoramiento en el rendimiento, no solo de semilla sino también en el contenido de aceite. Al respecto, Silva *et al.* (2007) mencionan que el uso de hasta 80 kg ha⁻¹ de N en cobertura en el cultivo de ricino no influye en el contenido de aceite.

Otros autores han tomado en cuenta la importancia del resto de nutrientes. Un ejemplo es el trabajo de Lavres *et al.* (2005), donde encontró que los nutrientes que más restringieron el crecimiento de las plántulas de ricino fueron, en orden decreciente: nitrógeno, calcio, azufre, magnesio, potasio y fósforo.

3.4 ORIGEN DE LA INFORMACIÓN

La información se obtuvo de 50 artículos científicos de diferentes revistas ubicadas en las bases de datos (ScienceDirect, Springer Link y Redalyc) provenientes de distintos países como Brasil, Costa Rica, Egipto, Turquía y África. El cultivo de higuera se utilizó como objeto de estudio, de los resultados se seleccionaron aquellos artículos enfocados en nutrición vegetal. La información se clasificó en tres grupos de acuerdo con el tipo de nutrientes: 1) Fertilización nitrogenada, 2) Fertilización con fósforo y/o potasio, y 3) Fertilización con micronutrientes.

3.5 GENERALIDADES DE LA REVISIÓN

Los artículos se publicaron en el periodo de tiempo comprendido del 1958 al 2019, de los cuales el 64% estudiaron aspectos relacionados con fertilización nitrogenada, 24% se enfocaron en nutrición con tratamientos de fósforo y/o potasio y solo el 12% fueron en torno a nutrición con micronutrientes (Tabla 1).

Tabla 1. Artículos por área y años

Área	Artículos	Años
Fertilización nitrogenada	32	1958-2019
Fertilización con fósforo y/o potasio	12	2009-2019
Fertilización con micronutrientes	6	2012-2019

Fertilización nitrogenada

Los estudios de investigación se han enfocado a la fertilización con nitrógeno en los cultivos de ricino (Lange *et al.*,2005; Severino *et al.*,2006; Silva *et al.*,2007; Lima *et al.*,2008; Moro *et al.*;2011; Ferreira *et al.*;2014, Mateus *et al.*,2015). La mayoría de los estudios han incluido algunos de los genotipos comúnmente utilizados por los productores, los más recomendados para el noreste de Brasil.

Debido a las diversas condiciones edafoclimáticas de los sitios donde se han establecido los cultivos, las recomendaciones para fertilizantes varían ampliamente y no hay un conocimiento real de los requisitos de los cultivos. También se han realizado estudios con fertilización nitrogenada de origen orgánico como compostas, lodos de plantas tratadoras de aguas residuales.

En Brasil se han desarrollado tratamientos con nitrógeno en cultivos de higuierilla intercalados con frijol, dando buenos resultados. Un ejemplo de ello, es un estudio reciente (Silva *et al.*,2020), donde se intercaló higuierilla con frijol común. El contenido de nitrógeno, potasio, calcio, magnesio y azufre en el ricino intercalado común fue influenciado por los tratamientos con nitrógeno.

Para el frijol común aplicado como abono, los rendimientos máximos de grano fueron de 1.122 y 1.024 kg ha⁻¹ para los cultivares (cvs.) Pontal y Pérola, respectivamente, con una dosis de 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Se observaron resultados similares para higuierilla, pues 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno proporcionaron el mayor número de racimos y número de bayas por racimo y el mayor rendimiento de grano. Los valores máximos observados fueron 38 y 27 racimos por planta, 27.6 y 35.4 bayas por racimo y rendimiento de grano de 1.474 y 1.286 kg ha⁻¹ para los cvs. Paraguaçu y Energia, respectivamente.

Las variables de crecimiento y rendimiento que se suelen evaluar en estos estudios son: altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar, número total y peso de semillas, número total de frutos y producción de aceite por planta.

Fertilización fosfórica y/o potásica

De acuerdo a Cavalcante (2020), en promedio, la dosis de nitrógeno de 150 kg ha⁻¹, condujo a valores adecuados de variables de crecimiento y rendimiento. Según sus resultados, para el crecimiento de las plantas se deben aplicar 300 kg ha⁻¹ de fósforo para la producción de ricino, la mejor dosis aplicada es de 600 kg ha⁻¹. La aplicación de potasio aumentó el área foliar, el número de semillas y la producción de aceite, en cuanto a resultados, la mejor dosis fue de 300 kg ha⁻¹. En cuanto al nutriente que promovió la mayor producción de aceite por planta (92.40 g) fue el fósforo, seguido del nitrógeno (75.55 g) y el potasio (72.10 g).

Fertilización con micronutrientes

Los mejores resultados de rendimiento se lograron a través de los tratamientos que Cavalcanti *et al.* (2015) propusieron. En esta investigación, se alcanzó el valor máximo de rendimiento (4.43 t ha^{-1}) con la dosis de lodos de 7.46 t ha^{-1} , es decir, con la aplicación de aproximadamente un 44% más que la dosis recomendada de la región, normada de acuerdo al cálculo descrito en la resolución brasileña 375 de CONAMA (Berton & Nogueira, 2010).

Otros resultados importantes fueron los siguientes: La fertilización con lodos de depuradora aumentó los contenidos de zinc y cobre en el suelo a valores cercanos o superiores a los obtenidos con la fertilización NPK, pero no tuvo ninguna influencia sobre el contenido de estos nutrientes en las hojas del ricino. La fertilización con doble sulfato de potasio y el magnesio aumentó el contenido de estos cationes en el suelo, pero no tuvo influencia sobre su contenido en hojas de ricino. Por otro lado, la fertilización con lodos aumentó el contenido de materia orgánica, azufre, zinc, hierro, cobre y boro en el suelo y manganeso y boro en las hojas de ricino.

3.6 CONCLUSIONES

Los niveles de nitrógeno que se han aplicado van desde 50 kg ha^{-1} a 120 kg ha^{-1} , dependiendo del tipo de suelo y sus condiciones nutritivas. A niveles muy altos de nitrógeno se observaron resultados negativos en los rendimientos. El fósforo es el nutriente que se ha relacionado directamente con una mayor producción de aceite por planta. La combinación balanceada de macronutrientes y micronutrientes generaron los mejores resultados.

3.7 LITERATURA CITADA

- Barhoumi, Z, Atia, A., Rabhi, M., Djeball, W., Abdelly, C., Smaoui, A. (2010). Efectos de la salinidad del nitrógeno y del NaCl sobre el crecimiento y la adquisición de nutrientes de las gramíneas *Aeluropus littoralis*, *Catapodium rigidum* y *Brachypodium distachyum* . Revista de Nutrición Vegetal y Ciencia del Suelo, Weinheim, v.173, n.1, p.149-157
- Canecchio-Filho, V., Freire, Es. (1958). Fertilización de ricino: experimentos preliminares. Bragantia , Campinas, v.17, p.243-259
- Chaves, L.H.G.; Gheyi, H.R; Ribeiro, S (2011). Consumo de agua y eficiencia de uso para el cultivo de ricino de Paraguaçu sometido a fertilización con nitrógeno. Ingeniería ambiental: investigación y tecnología, v.8, p.126-133
- Fageria, NK y Baligar, VC. (2006). Mejora de la eficiencia del uso de nitrógeno en plantas de cultivo. Avances en agronomía, no. 88, pág. 97-185
- Ferreira RB, Teixeira IR, Reis EF, Teixeira GCS, Silva AG (2014) Management of top-dressed nitrogen fertilization in the common bean/castor intercropping system. Aust J Crop Sci. 8:1086-1092.
- Lange A, Martinez AM, Silva MAC, Sorreano MCM, Cabral CP, Malavolta E (2005) Efeito de deficiência de micronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Íris. PesquiAgropecu Bras. 40:61-67.
- Lavres-Júnior, J., Boaretto, R.M, Silva, M.L.S., Correia., Cabral, C.P., Malavolta, E. (2005). Deficiencia de macronutrientes en el estado nutricional del cultivar de ricino Íris. Investigación Agrícola Brasileña, v. 40, n. 2, pág. 145-151
- Lima RLS, Severino LS, Albuquerque RC, Beltrão NEM, Sampaio LR (2008) Casca e torta de mamona avaliados em vasos com fertilizantes orgânicos. Rev Caatinga 21:102-106.
- Mateus GP, Crusciol CAC, Borghi E, Hirata ACS, Araújo HS (2015) Adubação nitrogenada em cultivares de mamona no sistema de semeadura direta consolidada. Magistra. 27: 460-467.
- Moro A, Crusciol CAC, Carvalho LLT (2011) Épocas de aplicação de nitrogênio para híbridos de mamona no sistema plantio direto em safrinha. Semina: Ciênc Agrár. 32: 391-410.
- Nakagawa, J., Neptuno, AML. (1971). Marcha de absorción de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en el cultivo de ricino (*Ricinus communis* L.) cultivar Campinas. Actas de la Facultad de Agricultura Luiz de Queiroz, c. 28, pág. 323-337
- Pacheco, DD. (2008). Producción y disponibilidad de nutrientes para ricino (*Ricinus communis*) fertilizado con NPK. Revista de Biología y Ciencias de la Tierra, v. 8, n. 1, pág. 153-160
- Severino LS, Ferreira GB, Moraes CRA, Gondim TMS, Freire WSA, Castro DA, Cardoso GD, Beltrão NER (2006a) Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutriente e micronutriente. Pesqui Agropecu Bras. 41:563-568.

- Severino, LS (2006). Crecimiento y productividad de ricino fertilizado con macronutrientes y micronutrientes. *Investigación Agrícola Brasileña*, v. 41, n. 4, pág. 563-568
- Silva TRB, Leite VE, Silva ARB, Viana LH (2007) Adubação nitrogenada em cobertura na cultura da mamona em plantio direto. *Pesqui Agropecu Bras* 42:1357-1359.
- Silva, TRB da., Leche, V.E, Silva, A.R.B da; Viana, L.H. (2007). Fertilización nitrogenada en cobertura en cultivo de ricino en labranza cero. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.42, n.9, p.1357-1359
- Cavalcanti, T. F., Zuba, G. R., Sampaio, R. A., Carneiro, J. P., de Oliveira, E. S., & Rodrigues, M. N. (2015). Yield of castor bean fertilized with sewage sludge and potassium and magnesium sulphate. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(8), 773-779.
- Berton, R. S.; Nogueira, T. A. R. Uso de lodo de esgoto na agricultura. In. Coscione, A. R.; Nogueira, T. A. R.; Pires, A. M. M. (ed.) *Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA*. Botucatu: FEPAF, 2010. p.31-50.
- Cavalcante, A., Washington, B., Chaves, L., Fernandes, J., Souza, F.G. y Silva, S.A. (2020). Mineral fertilization with macronutrients in castor bean, lineage UFRB 222. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(2), 106-114. Epub December 20, 2019. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n2p106-114>

Este capítulo se preparó para ser enviado a la revista Terra Latinoamericana. Los números de Cuadros y figuras fueron modificados para seguir orden en el documento de la tesis

4 EVALUACIÓN DE EFECTOS DE NUTRICIÓN EN LA PRODUCTIVIDAD DE HIGUERILLA EN SU ETAPA EXPERIMENTAL DE PRODUCTIVIDAD

Evaluation of nutrition effects on castor productivity in its experimental productivity stage.

Marta Andrea Varguez-Urbano¹, Ranferi Maldonado-Torres¹, David Cristóbal-Acevedo¹ y José Víctor Tamariz-Flores^{2†}

¹ Universidad Autónoma Chapingo, km. 38.5 Carr. México–Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.

² Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas, Posgrado en Ciencias Ambientales-Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 14 Sur 6301, San Manuel, C. P. 72570, Puebla, Puebla, México

[†] Autor de correspondencia (jose.tamariz@correo.buap.mx)

RESUMEN

El cultivo de higuierilla altamente productivo necesita niveles adecuados de nutrientes. Por ello, el objetivo de esta investigación se centró en evaluar el potencial productivo de higuierilla a través de la cuantificación de variables de crecimiento y rendimiento, bajo dos tratamientos de nutrición, con la finalidad de valorar su viabilidad productiva en zona árida. Se evaluó el estado nutrimental edáfico y foliar, y calidad de agua de riego en una plantación comercial de Higuierilla en Sonora. Para la interpretación se utilizó el Índice de balance (IB) y Desviación del Óptimo Porcentual (DOP). Con base en los resultados se formularon dos tratamientos nutritivos aplicados en dos variedades, el diseño experimental fue bloques completos al azar con arreglo factorial 2x2. Se evaluaron diez componentes de crecimiento y dos de rendimiento. En suelo, se encontraron deficiencias de Fe, Zn, Cu, Mn y Na; en menor grado de P, la MO es baja; K, Ca, Mg y B son excesivos. El análisis foliar indicó niveles de N, P, K, Mg, Mn, Zn y Cu abajo de normal; Ca normal y Fe y B excesivos. En cuanto a crecimiento, var. Verónica fue la que obtuvo mejores características en todas las variables. Respecto a rendimiento, el mejor se obtuvo en la interacción variedad-fertilizante, Verónica-Ápice tuvo un rendimiento de 2286 kg ha⁻¹, en contraste, Nica-Castor obtuvieron 1534 kg ha⁻¹. El mejor tratamiento fue la variedad Verónica fórmula Ápice, que generó un rendimiento adecuado al superar el promedio nacional mexicano (2.2 t ha⁻¹). El contenido de aceite resultó bajo en todos los tratamientos, y al ser una característica hereditaria, se recomienda utilizar otras variedades con mejor potencial genético que las utilizadas en este estudio.

Palabras clave: *Ricinus communis* L.; condiciones nutrimentales edáficas y foliares; nutrición vegetal; productividad de cultivo

Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Marta Andrea Varguez Urbano

Director de tesis: Dr. Ranferi Torres Maldonado

SUMMARY

Highly productive castor crop needs adequate levels of nutrients. For this reason, the objective of this research focuses on evaluating the productive potential of castor by quantifying growth and yield variables, under two nutrition treatments, in order to assess its productive viability in arid zones. Soil and foliar nutritional status and irrigation water quality were evaluated in a commercial Castor Bean crop in Sonora. The Balance Index (IB) and Deviation from the Optimal Percentage (DOP) were used for interpretation of results. Based on these results, two nutritional treatments applied in two varieties were formulated, the experimental design was complete random blocks with a 2x2 factorial arrangement. Ten growth components and two yield components were evaluated. In soil, there are deficiencies of Fe, Zn, Cu, Mn and Na; to a lesser degree of P; OM is low; K, Ca, Mg and B are excessive. Foliar analysis indicates levels of N, P, K, Mg, Mn, Zn and Cu below normal; Ca is normal, and Fe and B are excessive. In terms of growth, Verónica var. was the one that obtained the best characteristics in all variables. Regarding yield, the best result was obtained in the variety-fertilizer interaction Verónica-Ápice, this one had a yield of 2286 kg ha⁻¹. In contrast, Nica-Castor treatment obtained 1534 kg ha⁻¹. The best treatment was the Verónica formula Ápice variety, which generated an adequate yield by exceeding the Mexican national average (2.2 t ha⁻¹). The oil content is low in all treatments, and being a hereditary characteristic, it is recommended to use other varieties with better genetic potential than those used in this study.

Index words: *Ricinus communis L.*; *nutritional soil and foliar conditions*; *plant nutrition*; *crop productivity*

4.1 MATERIAL Y MÉTODOS

4.1.1 Sitio de experimento

Las parcelas experimentales fueron establecidas en el Campo experimental del Sahuaral, ubicado en el municipio de Guaymas en el Estado de Sonora. Para caracterizar algunas propiedades físicas y químicas del suelo, se realizó un muestreo en zig-zag en 14 puntos de las parcelas experimentales, a una profundidad de 0 a 25 cm, las cuales se integraron como muestras compuestas.

4.1.2 Análisis de agua

Se tomaron dos muestras de agua de 1 L del pozo S68, una para cada parcela. La muestra fue homogénea y representativa de la fuente de agua de riego, se tomó directamente después de que se estuvo regando por media hora. El agua se depositó en una botella limpia que previamente se enjuagó varias veces con el agua a muestrear y se llenó completamente, procurando dejar el menor volumen de aire en su interior. Se enviaron al laboratorio Ápice Nutrelab para determinar pH, CE, Sales totales, presión osmótica, dureza, RAS, Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, NH₄⁺, Cl⁻, SO₄⁼, CO₃⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻ y B.

4.1.3 Análisis nutrimental de suelo y planta (foliar)

La muestra de suelo se tomó dentro del área de goteo de la copa de la planta. Las muestras se llevaron al laboratorio Ápice Nutrelab para su análisis, estas se secaron, molieron y tamizaron. Posteriormente se determinó pH con un potenciómetro; conductividad eléctrica (CE) en el extracto de la pasta de saturación con un conductímetro; materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black; nitrógeno inorgánico (N) por el método de Kjeldahl; fósforo (P) por método Olsen y colaboradores; capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el método de percolación con acetato de amonio pH 7.0; K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu y B determinados en espectrofotómetro de absorción atómica, de acuerdo

con los protocolos de la NOM-O21- SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2001). La interpretación se realizó mediante las propuestas de Ankerman y Large (1977) y SEMARNAT (2001).

Los procedimientos que se realizaron fueron los siguientes:

El pH se midió con un potenciómetro en la suspensión sobrenadante de una mezcla de relación suelo: agua a 1:2.

El procedimiento para determinar la CE del extracto de saturación de un suelo fue a través de la medición electrolítica y una celda de conductividad como sensor.

La determinación de MO se realizó a través del método Walkley y Black. Este está basado en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Después de un cierto tiempo de espera, la mezcla se diluyó, se adicionó ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe^{3+} y el dicromato de potasio residual se valoró con sulfato ferroso. Con este procedimiento se detecta entre un 70 y 84% del carbón orgánico total por lo que es necesario introducir un factor de corrección, el cual puede variar entre suelo y suelo. En los suelos de México se recomienda utilizar el factor 1.298 (1/0.77).

En el caso de N inorgánico extraíble, se determinó a través del procedimiento micro-Kjeldahl, este se utiliza como índice de disponibilidad de nitrógeno en el suelo y está basado en la extracción del amonio intercambiable por equilibrio de la muestra de suelo con KCl a concentración 2 N. La determinación se realizó por destilación mediante arrastre de vapor en presencia de MgO.

El procedimiento utilizado para determinar P disponible tanto en suelos neutros como alcalinos fue el propuesto por Olsen y colaboradores. El fósforo determinado con este procedimiento ha mostrado una estrecha relación con la

respuesta de los cultivos. El fósforo fue extraído del suelo con una solución de NaHCO_3 0.5 M ajustada a un pH de 8.5. En suelos neutros, calcáreos o alcalinos, que contienen fosfatos de calcio, este extractante disminuye la concentración de Ca en solución a través de una precipitación del CaCO_3 , por tanto, la concentración de P en solución se incrementa.

En cuanto a la determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) se utilizó un procedimiento en el cual se empleó acetato de amonio 1N, pH 7.0, como solución saturante. Este método consiste en la saturación de la superficie de intercambio con un catión índice (ion amonio). A continuación, se realizó un lavado del exceso de saturante con alcohol; posteriormente se generó el desplazamiento del catión índice con potasio y finalmente se determinó el amonio mediante destilación. El amonio se empleó como catión índice debido a su fácil determinación, poca presencia en los suelos y porque no precipita al entrar en contacto con el suelo. La concentración normal que se usó asegura una completa saturación de la superficie de intercambio y como se amortiguó a pH 7.0, se logró mantener un cierto valor de pH.

Para la determinación de micronutrientes, el procedimiento analítico tiende a evaluar la disponibilidad de algún metal, fundamentalmente se asocian a su capacidad para disolver o extraer alguna forma química del metal presente en el suelo. La eficiencia de extracción dependerá de la capacidad de cada solución para poder recuperar parte de aquellas formas de metales presentes en el suelo, las cuales generalmente se asocian a la cantidad de metal que es absorbido por los cultivos. Entre las sustancias utilizadas para recuperar a los metales del suelo, destacan aquellas que emplean a compuestos orgánicos con la capacidad para formar complejos estables, tal es el caso del DTPA (ácido del dietilen-triamino-pentaacético) y del EDTA (ácido del etilen-diamino-tetraacético), éstas tienen como finalidad la recuperación elementos metálicos que se encuentran en forma

intercambiable, ligados a la materia orgánica, así como disolver formas precipitadas.

Por otro lado, se realizó un análisis foliar. Para ello, se tomaron diez muestras de plantas de cada parcela. De cada planta se tomaron tres hojas, de tres brotes diferentes, con el criterio de muestrear la hoja más joven completamente expandida en brotes del año, seleccionados al azar dentro de la planta; luego se obtuvo una muestra compuesta al combinar las 18 hojas de las seis plantas de cada repetición. Las hojas se lavaron con agua desmineralizada dos veces y luego se secaron a peso constante en estufa de aire forzado a 65° C, posteriormente se molieron hasta pasar por una malla 20.

Los análisis se realizaron en el laboratorio de Ápice Nutrilab y la concentración de los nutrientes N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn y Zn se determinó en espectrofotómetro de absorción atómica. La interpretación de los resultados nutrimentales, se realizó a través del índice de balance Kenworthy (1961). Con los resultados de estos análisis se realizó la formulación del tratamiento de nutrición de Ápice.

4.1.4 Material vegetal

El material vegetal utilizado para el experimento fueron dos híbridos de higuera denominados Verónica y Nica. Este material vegetal fue proporcionado por la empresa agroindustrial Castor Fields.

4.1.5 Diseño experimental y tratamientos

El experimento se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 2x2 que consisten en tipo de híbrido (Verónica y Nica) y tratamientos de fertilización (Semicomercial y Ápice). La densidad de semillas fue de 31248 semillas ha⁻¹ para todos los tratamientos y se realizó un ensayo de

germinación para estimar la densidad real a través del porcentaje de germinación. El tratamiento de Castor Fields consistió en una dosis de 113-50-30 con una fórmula comercial específica de Mg, Fe y Zn. La fórmula de Ápice es de 125-70-0 con una fórmula de Fe=1.7; Mn=1.8; Zn=2.2 Cu= 1.2.

La ubicación de las parcelas se puede observar en Figura 1. Los predios que fueron fertilizados con la nutrición semicomercial recomendada por Castors Fields están ubicados en los cuadros 2.1, 2.2 y 2.3 (denominada como sección 2), mientras que aquéllos fertilizados con los nutrientes propuestos por Ápice S.A. de C.V., se encuentran ubicados en el campo Machete 1 y corresponde a los cuadros 1.2, 1.3 y 1.4 (denominada como sección 1). La superficie cultivada bajo tratamiento de fertilización Castor Fields para cada variedad fue de 5.3 ha, mientras que la superficie bajo tratamiento Ápice fue de 4.5 ha para cada variedad.

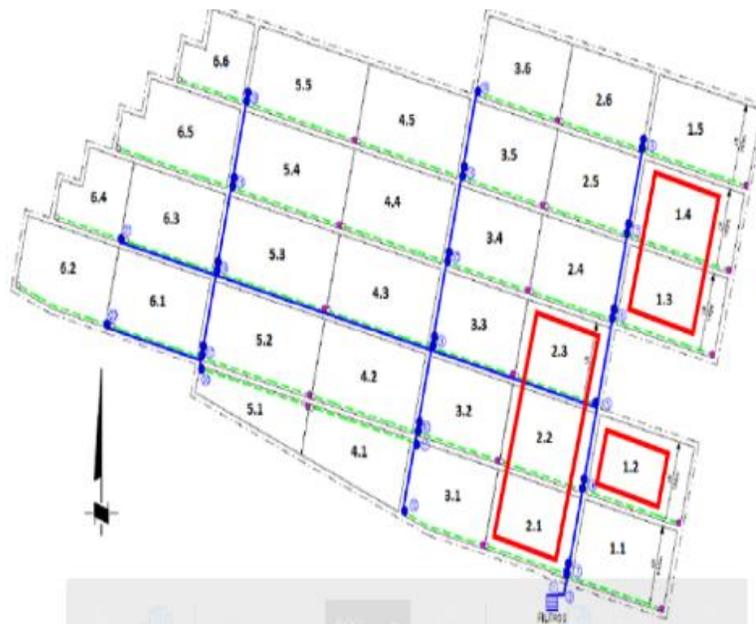


Figura 1 Ubicación de parcelas en el campo experimental El Sahuaral, Sonora

4.1.6 Establecimiento de experimento y sistema de irrigación

El experimento se estableció el 15 de febrero de 2019. Todas las parcelas experimentales se regaron con el mismo pozo (S 68) bajo un sistema de riego por goteo.

El manejo agronómico fue el mismo en todos los tratamientos. En todos los casos se aplicó la mitad del nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra y el resto de nitrógeno antes del aporque. La fórmula granulada fue convertida a soluble antes de su aplicación en el suelo. La densidad de plantación fue de 33,000 plantas/ha.

4.1.7 Variables evaluadas

Las variables de crecimiento que se seleccionaron para evaluar fueron: Altura de suelo a racimo principal (cm), número de racimos totales, diámetro de tallo de planta (cm) y altura total (altura de suelo a racimo principal + longitud de racimo principal). En el racimo principal se midió: longitud total de racimo principal (cm), longitud de frutos no formados (cm), proporción de flor macho (cm) y número de frutos formados. También se tomaron medidas de tres racimos secundarios: número de frutos, longitud de racimo secundario y proporción de flor macho (cm). Por último, se consideraron las variables de rendimiento de semilla (kg ha^{-1}) y rendimiento de aceite (kg ha^{-1}). La cosecha se realizó cuando los frutos estaban en madurez fisiológica (color café). En una hectárea se eligieron y marcaron 6 plantas, a las que se les determinó el rendimiento de fruto por planta y se realizó una estimación de la cosecha por hectárea. Se obtuvieron las muestras de manera aleatoria cortando 10 frutos de cada planta y por cada tratamiento.

Para la extracción de semillas, los frutos se expusieron a temperaturas controladas en estufa, a 65 °C y periodos de tiempo entre 72-120 hora hasta que

ocurriera la dehiscencia, posteriormente se pesaron las semillas hasta obtener peso constante, después de un periodo de 96 horas a 100 °C

Posteriormente, las semillas se colocaron en la estufa a 104° C durante 96 horas para obtener peso constante obteniendo como resultado un promedio de 7.25% de contenido de humedad en las semillas de higuera. La determinación del contenido de aceite se realizó utilizando un equipo Goldfish y el solvente empleado fue metanol. A partir de estos resultados se realizó una estimación de la cantidad de aceite obtenido por hectárea.

Análisis estadístico. A los datos obtenidos se les aplicó un análisis de varianza y, en aquellos casos en los que hubo diferencias significativas entre los tratamientos, se usó la prueba de comparación de Tukey (HSD). El análisis estadístico se realizó con el software InfoStat (versión 2017).

4.2 INTRODUCCIÓN

Las plantaciones energéticas consisten en el cultivo de especies seleccionadas de árboles y arbustos que son cosechables en un tiempo más corto y que están destinados específicamente para producción de bioenergía, que incluye biocombustible, biodiesel y biogas. En años recientes, la semilla de higuera (*Ricinus communis* L.) ha cobrado interés en todo el mundo para la producción de biodiesel (Dagar y Tewari, 2018). En el caso de México, debido a la tolerancia de esta especie a condiciones adversas, resulta una opción viable a implementar en las zonas áridas y semiáridas de México. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial productivo de higuera a través de la cuantificación de variables de rendimiento, bajo dos tratamientos de nutrición, con la finalidad de valorar su viabilidad como especie agroforestal de zona árida.

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1 Análisis de agua, suelo y planta (foliar)

El pH del agua de riego fluctuó entre 6.38 y 7.43, por lo que se trata de agua de calidad regular. De acuerdo a los valores de CE, que variaron de 0.37 a 1.51 dS m^{-1} , esta agua se considera muy baja en sales, de excelente calidad en el primer caso y agua salina de calidad media. De acuerdo a el contenido de B, el agua de riego es de agua de muy buena calidad a agua moderadamente alta en B, ya que las cantidades fueron de 0.16 a 0.79 mgL^{-1} (Castillo,2000). Los cloruros se encontraron en una escala de 1.00 a 7.50 $me L^{-1}$ por lo que, en relación a este elemento, el agua se considera de calidad muy buena a regular (Castillo,2000). Las concentraciones de carbonatos fueron de 0 y la de bicarbonatos fluctuaron entre 2.0 y 6.50 $me L^{-1}$, respectivamente. El primer valor indica baja cantidad de bicarbonatos, mientras que la segunda significa problemas moderados de bicarbonatos (Castillo,2000).

En cuanto a sodicidad, los valores de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) fueron de 0.12 y 0.18 $me L^{-1}$, ambos valores significan muy bajas cantidad de sodio en el agua, lo cual es una condición ideal (Castillo,2000).

Finalmente, de acuerdo a la clasificación de Riverside (modificada por Thorne y Petersen), el primer caso pertenece a la clase C2S1, lo cual significa que se puede utilizar para riego en el caso de higuera sin problema, aunque en suelos pesados se puede requerir lavados periódicos. El segundo caso pertenece al grupo C3S1, lo cual significa que se debe emplear en suelos de mediana a alta permeabilidad y con riegos de lavado periódicos. Los cultivos deben tener moderada o buena tolerancia a las sales. Sin embargo, la higuera se considera una especie tolerante, por lo cual no representa un problema (Villanueva, Osinaga y Chávez,2004). Los valores se observan en la Figura 2 y Figura 3 .



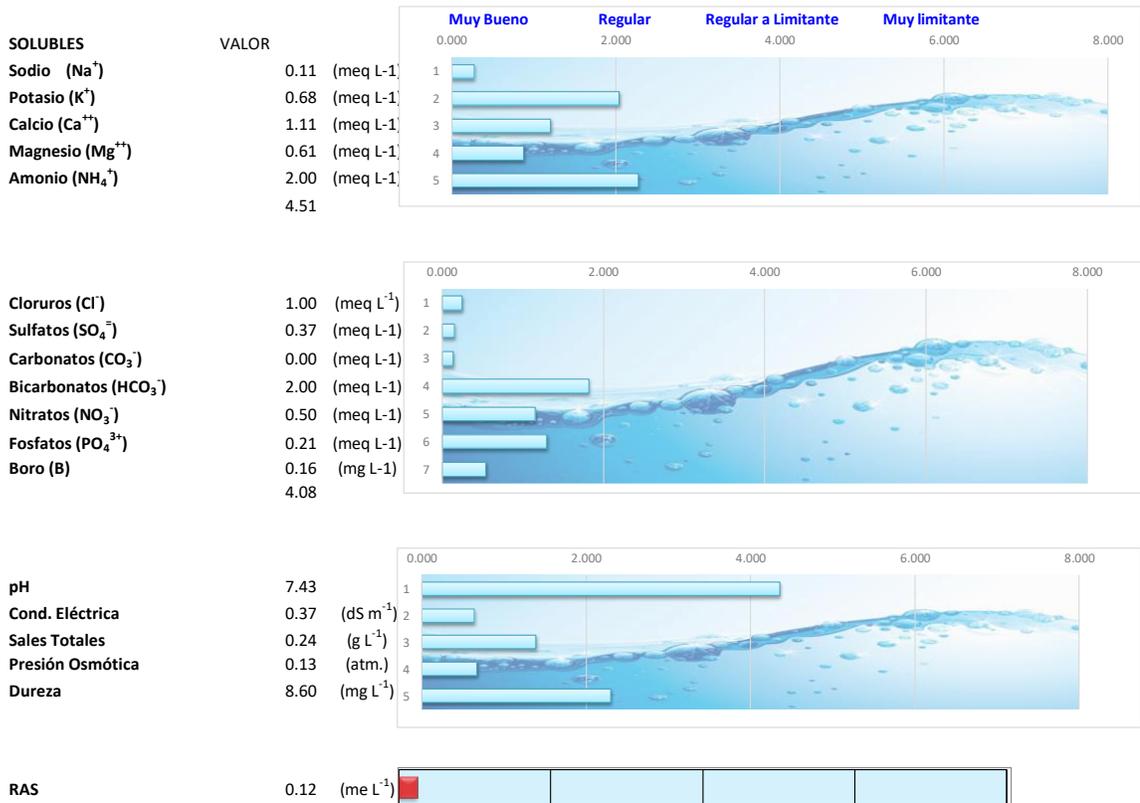
NUTRELAB

"Ciencia y tecnología a su servicio para una agricultura sostenible"
(Análisis de suelo, planta, agua, fertilizantes y enmiendas agrícolas)



Solicitante:	PROYECTO HUIGERILLA, CASTORFIELD	Fecha:	26/11/2018
Identificador:	ITVY HERMOSILLO SONORA	Muestra:	BLOQUE A-78-2

CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO



Pedidos: Periferico No. 7, San Diego, Texcoco, Edo. de México CP 56230
Correo: apice.nutrelab17@gmail.com
 servicios@apiceagro.com
Tel: 01 (595) 95-5-16-95 ó 01 (595) 93-1-31-53

Figura 2 Parámetros químicos de agua de riego empleada en sección 1



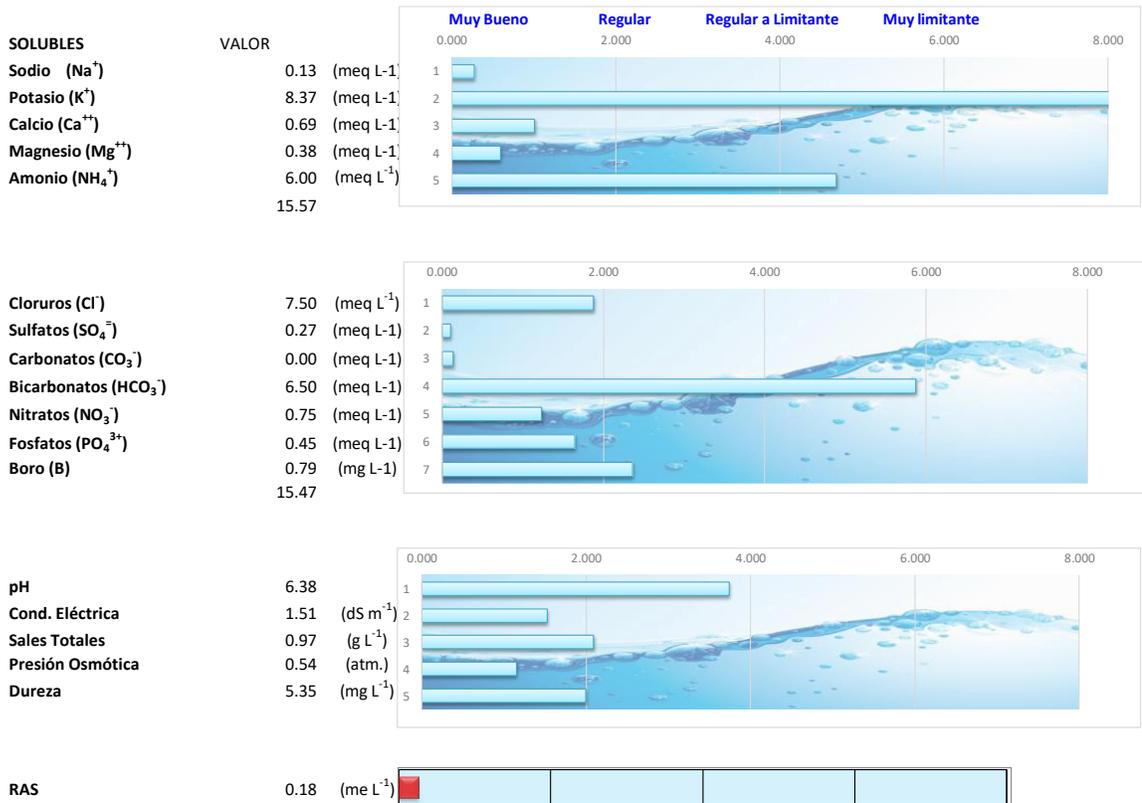
NUTRELAB

"Ciencia y tecnología a su servicio para una agricultura sostenible"
(Análisis de suelo, planta, agua, fertilizantes y enmiendas agrícolas)



Solicitante:	PROYECTO HUIGERILLA, CASTORFIELD	Fecha:	26/11/2018
Identificador:	APACH-I HERMOSILLO SONORA	Muestra:	BLOQUE A-78-1

CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO



Pedidos: Periferico No. 7, San Diego, Texcoco, Edo. de México CP 56230
Correo: apice.nutrelab17@gmail.com
 servicios@apiceagro.com
Tel: 01 (595) 95-5-16-95 ó 01 (595) 93-1-31-53

Figura 3. Parámetros químicos de agua de riego empleada en sección 2

Las condiciones del suelo fueron similares en ambas secciones. La densidad aparente fue de $1.16 \text{ (g cm}^{-3}\text{)}$. Los valores de pH se encontraron en el rango de 7.74 a 7.80, que corresponden a suelos medianamente alcalinos. Con respecto a la salinidad, la conductividad eléctrica fue de 1.08 a 1.55 dS m^{-1} , el primer valor de efectos despreciables de salinidad y el segundo muy ligeramente salino (SEMARNAT,2000).

Los valores de materia orgánica variaron de 2.29 a 1.48% entre parcelas; de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000, valores de 1.5% o menores se clasifican como bajos. La concentración de nitrógeno inorgánico en el suelo fue mayor en la sección 2, con promedio de 35 mg kg^{-1} , seguido por la sección 1 con valor de 28 mg kg^{-1} ; ambos valores se consideran medios. Este dato fue relevante en la cantidad contemplada en la formulación de *Ápice*, que fue mayor que en la fórmula de *Castor Fields*, ya que los requisitos de nitrógeno, en ricino, son relativamente altos en comparación con otros cultivos de semillas oleaginosas como la soja, y leguminosas fijadoras de N, además es variable de acuerdo a la materia orgánica del suelo. La aplicación y efectos de diferentes dosis de fertilización con N en ricino depende del suelo y la condición climática de diferentes países. Por ejemplo, en Egipto se considera que la dosis correcta de N es de 30 kg ha^{-1} ; en Bélgica se considera que la mejor dosis es de 50 kg ha^{-1} ; mientras que en Ankara es de 100 kg ha^{-1} (Shams, Moursi y Ahmed,1967; Pohlmeier,2007; Maryan y Dilek,2012). Con respecto al fósforo, la sección 2 tuvo el valor más alto con 6.44 mg kg^{-1} , considerándose bajo; mientras el valor de 4.80 mg kg^{-1} en la sección 1 se considera ligeramente deficiente.

La concentración de potasio fue más alta en la sección 2 ($828.36 \text{ mg kg}^{-1}$) que en la sección 1 (778.2 mg kg^{-1}), pero ambas se consideran excesivas, esto es importante, ya que cantidades excesivas de potasio genera un antagonismo en la absorción de magnesio, lo cual se corrobora al comparar el diagnóstico edáfico en el cual la cantidad de magnesio en ambas secciones se considera alto mientras que en el diagnóstico nutrimental foliar el nivel de magnesio resultó

debajo de lo normal. El calcio tuvo una concentración excesiva en la sección 1 (5677.90 mg ha⁻¹) y alta en la sección 2 (2356 mg ha⁻¹) (SEMARNAT,2000). En cuanto a los micronutrientes, en ambas secciones, las concentraciones de sodio, hierro, manganeso, zinc y cobre fueron deficientes. Mientras que la concentración de boro se considera excesiva en ambas secciones. La capacidad de intercambio catiónico se considera baja en ambas secciones (SEMARNAT,2000). Los valores están en la Tabla 2, Figura 4 y Figura 5.

Tabla 2.Principales propiedades del suelo de las parcelas experimentales

No.	pH	CE	CIC	MO	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		ds	meq/100g	%											
		m ⁻¹													
1	7.46	1.08	7.5	2.29	28	4.8	778.2	5677.9	770.3	19.68	0.2	6.59	0.24	0.53	2.8
2	7.74	1.55	7.5	1.48	35	6.44	828.36	2356	427.6	32.79	0.4	10.23	0.08	0.2	2.9

Con base en estos resultados, se realizó la formulación de la solución nutritiva de Ápice, en cuya fórmula las cantidades de N y P fueron mayores que las de la fórmula de Castor Fields. Del mismo modo, al tomar en cuenta que el K está presente en el suelo en cantidad excesiva, en la formulación de Ápice no se agregó, mientras que en la formulación de Castor Fields sí, sin tomar en cuenta que a niveles excesivos de K se afecta la absorción de Mg. En cuanto a micronutrientes, en la formulación de Ápice se tomaron en cuenta las deficiencias de Fe, Mn, Zn y Cu para adicionarlos a la solución nutritiva sin Mg cuya cantidad es alta en el suelo, mientras que en la fórmula de Castor Fields se agregaron los micronutrientes Mg, Fe y Zn. Al tomar en cuenta la relación Cu y N y los niveles encontrados en el análisis de suelo, fue importante agregar este micronutriente debido a que se ha demostrado que al aplicar un suministro de cobre suficiente y se tiene un aporte alto de nitrógeno, se genera un efecto positivo en el rendimiento del grano en el cultivo. Además, el rendimiento que se alcanza al suministrarlos en cantidades suficientes, es superior al que se obtiene al aplicarse de manera individual.



Figura 4. Análisis de suelo representativo del sistema de producción de higuera



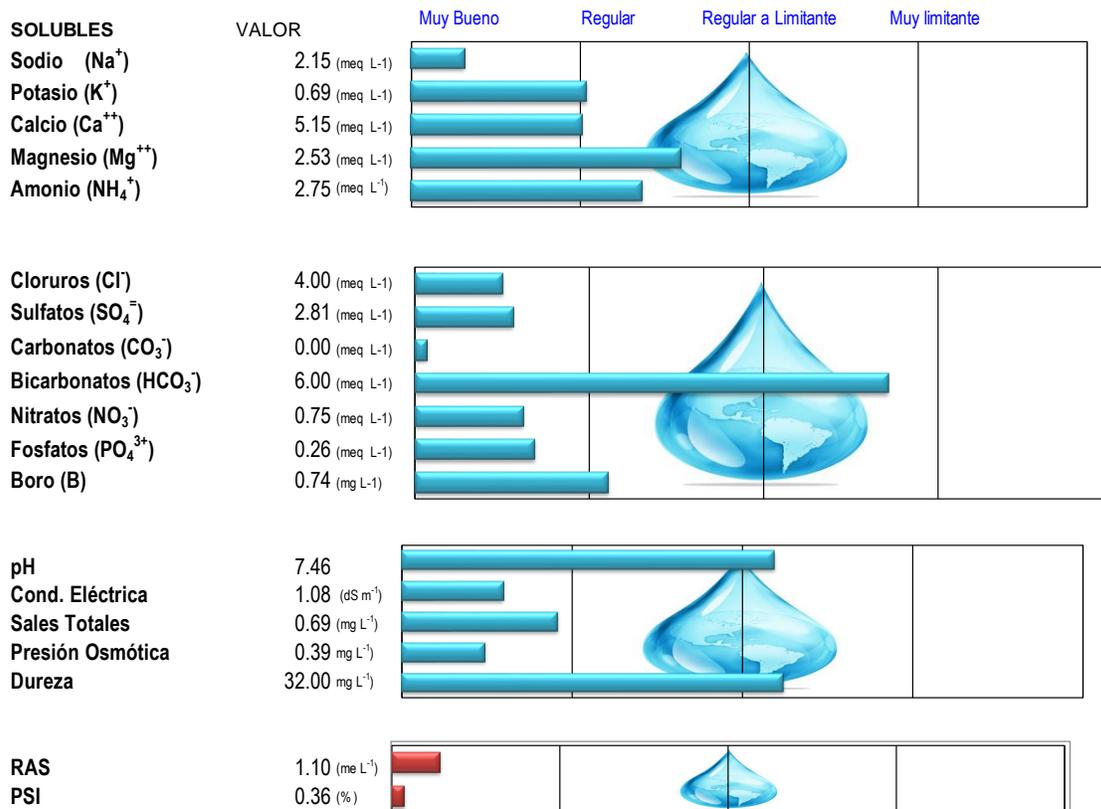
NUTRELAB

"Ciencia y tecnología a su servicio para una agricultura sostenible"
(Análisis de suelo, planta, agua, fertilizantes y enmiendas agrícolas)



Solicitante:	PROYECTO HIGUERILLA, CASTORFIELD	Fecha:	26/11/2018
Identificador:	ITVY, MUESTRA ZIC-ZAC, 0-25cm, 14 PUNTOS MUESTRA		
	HERMOSILLO, SONORA	Muestra:	BLOQUE SAL-78-1

CONCENTRACIÓN SALINA DEL SUELO



Pedidos: Periferico No. 7, San Diego, Texcoco, Edo. de México CP 56230
Correo: apice.nutrelab17@gmail.com
 servicios@apiceagro.com
Tel: 01 (595) 95-5-16-95 ó 01 (595) 93-1-31-53

Figura 5. Análisis de salinidad de suelo del sistema de producción de higuera

Índice de Balance (IB)

Se desarrolló por Kenworthy (1973) para árboles frutales. Se utiliza la concentración media poblacional (S) de cada nutriente y el coeficiente de variación (CV) de una población de árboles con alto rendimiento, para determinar rangos suficientes, deficientes y excesivos. El IB de una muestra X se calcula con las Ecuaciones (1) y (2):

$$\text{Si } X > S, \text{ IB} = [(X/S) * 100] - [((X/S) * 100) - 100] * (CV/100) \quad (1)$$

$$\text{Si } X < S, \text{ IB} = [(X/S) * 100] - [(100 - \{(X/S) * 100\}) * (CV/100)] \quad (2)$$

Los datos utilizados en este índice, así como el IB calculado se pueden observar en la Tabla 3

Tabla 3. Valores calculados de IB, valores de media poblacional (S) y Coeficiente de Variación (CV)

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
S	3.40	0.30	1.75	1.40	0.33	125.00	150.00	32.50	7.00	37.50
CV (%)	0.12	0.10	0.27	0.30	0.10	0.35	0.18	0.32	0.29	0.20
Concent. (X)	2.35	0.27	1.94	1.67	0.46	473	50.7	13.3	3.6	139.35
IB	79.20	89.99	110.83	139.34	119.35	377.43	33.92	40.73	51.29	371.05

Los rangos que se definieron con el procedimiento de IB se observan en la Tabla 4 y representan el porcentaje estandarizado de cada nutriente con respecto al valor óptimo de la población con alto rendimiento.

Tabla 4. Clasificación de los valores de índice de Balance

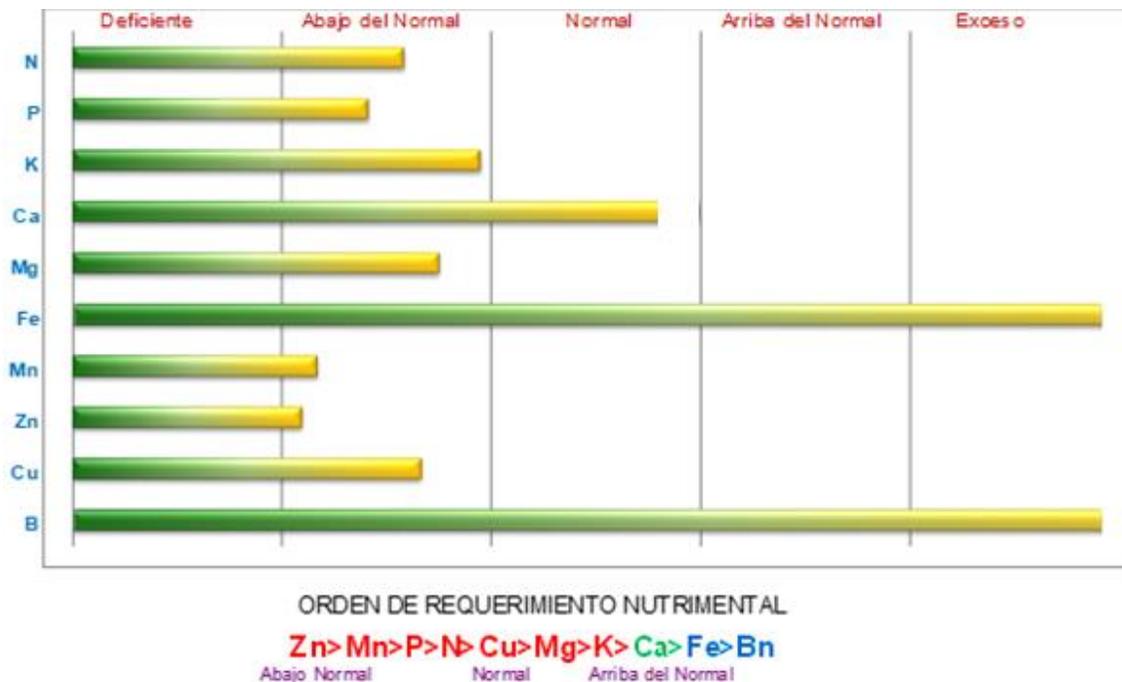
Clasificación	Intervalo IB
< 90	Deficiente
90-120	Debajo del normal
121-151	Normal
152-202	Arriba del normal
>202	Exceso

Los valores de IB de los distintos nutrientes de la muestra se pueden ordenar de menor a mayor para generar un orden de requerimiento (OR), de manera similar al método DRIS, como se puede observar a continuación.

Mn > Zn > Cu > N > P > K > Ca > Mg > B > Fe

En la Figura 6, se muestra de manera gráfica los resultados IB de la muestra.

Figura 6. Carta de balance nutrimental foliar



De acuerdo con el índice Kenworthy, el orden de requerimiento nutrimental mostró que el Zn, Mn, P, N y Cu, estuvieron debajo de lo normal, Mg, K y Ca estuvieron en lo normal u óptimo y hubo exceso de Fe y B. Las concentraciones deficientes de Mn, Zn y Cu en suelo son congruentes con las deficiencias foliares de esos elementos. Sin embargo, en el caso del P y N, aunque no se consideren deficientes en el suelo, si lo son en el tejido foliar; esto podría indicar que las necesidades de P y N son mayores que las que provee el suelo de esas parcelas.

Las deficiencias nutrimentales generan problemas en el metabolismo vegetal que afectan el rendimiento y calidad de fruto. En el caso del P, su deficiencia afecta todos los aspectos del metabolismo vegetal y el crecimiento. Algunos resultados de una baja de fósforo, como el letargo de las yemas laterales, se deben en realidad a una resultante deficiencia de nitrógeno. Las plantas deficientes de fósforo son de lento desarrollo y a menudo achaparradas.

Lo mismo que en la deficiencia de nitrógeno, los síntomas aparecen primero en las hojas maduras debido a la gran movilidad del fósforo, pero, a diferencia de la deficiencia de nitrógeno, las hojas de plantas deficientes en fósforo tienden a tornarse verde oscuras o bien la clorosis se extiende a las nervaduras foliares, así como a las lamelas. También se pueden acumular carbohidratos solubles. Una de las características de la deficiencia es un gran incremento de la actividad de la fosfatasa; esto tal vez esté relacionado con la movilización y reutilización del fosfato disponible que tiene lugar bajo estas condiciones. La madurez se retarda en plantas con deficiencia de P, aunque en muchas especies, es la relación del P con el N la que regula la maduración: el exceso de nitrógeno la retarda y la abundancia de fósforo la acelera (Azcón y Talón,2003).

De acuerdo a Jones *et al.* (1991), la concentración de suficiencia de Cu es $> 4 \text{ mg kg}^{-1}$, cantidad que es mayor a la encontrada en el análisis foliar de esta investigación (3.6 mg kg^{-1}). La esencialidad del Cu se explica por su presencia en diversas proteínas y enzimas implicadas en procesos de oxidación/reducción

como la polifenol oxidasa y la ácido ascórbico oxidasa y puede estar involucrado en la reducción de nitritos. Dos sistemas clave en este sentido son la plastocianina, una proteína cloroplástica involucrada en el transporte electrónico de la fotosíntesis entre el fotosistema II y el fotosistema I y la enzima citocromo c oxidasa, una enzima respiratoria que cataliza la transferencia de electrones hasta el oxígeno en las crestas mitocondriales. Por otra parte, el Cu es componente del complejo enzimático fenolasa, que oxida fenoles, y se relaciona con la biosíntesis de lignina, ya que forma algunos de sus precursores. En este sentido, entre los primeros signos de la deficiencia de Cu están la reducción en la lignificación y una acumulación de fenoles, al igual que sucede en la deficiencia de B (Azcón y Talón, 2003)

En cuanto al Zn, Marschner (2012), señaló que generalmente para este cultivo, una deficiencia de Zn podría presentarse a concentraciones por debajo de 15 a 20 mg kg⁻¹. En contraste con esto, Brown (1994) indicó una concentración entre 9 y 12 mg kg⁻¹ para plantaciones con alta producción. De acuerdo a esto, el resultado en esta investigación para este nutriente (13.3 mg kg⁻¹) está bastante debajo de lo recomendado por Marschner pero estaría dentro del criterio aceptable de Brown. El zinc tiene relación directa con la síntesis del ácido indolacético (IAA) y como tal su deficiencia puede causar cambios sustanciales en la forma y hábito de crecimiento de ciertas especies, produciendo plantas atrofiadas y de baja altura, con pobre desarrollo de la dominancia apical. Hay una clara relación entre los niveles de Zn y la concentración de auxinas que, incluso, llega a disminuir antes de que se manifieste la deficiencia de Zn en la planta.

Por otra parte, el Zn es necesario para la actividad de, al menos, ochenta sistemas enzimáticos (normalmente formando parte de su estructura). En las que se incluyen las deshidrogenasas del ácido láctico, ácido glutámico, alcohol y pirimidín nucleótido y las cinco anhidrasas carbonicas, descritas hasta el momento que aceleran la hidratación reversible del dióxido de carbono a bicarbonato en la fotosíntesis.

Junto con el Cu, constituye algunos tipos de superóxido dismutasas (SOD), presentes en distintos orgánulos y en el citoplasma de la célula vegetal, están implicadas en la defensa contra los radicales superóxidos. Por último, cabe destacar su participación en la estabilidad del ribosoma y su presencia en la RNA polimerasa, lo que le convierte en un regulador de la expresión génica (Bidwell, 1993; Azcón y Talón, 2003).

Respecto a Mn, la concentración estimada en el análisis se considera deficiente, pues de acuerdo a Brown (1994), las concentraciones adecuadas fluctúan entre 80 y 165 mg kg⁻¹ a lo largo de diferentes etapas del ciclo y en plantas con diferente vigor. En contraste, Jones *et al.* (1991) estableció una concentración >20 mg kg⁻¹ como un valor de suficiencia. El manganeso se involucra mucho en funciones catalíticas: es el metal activador de algunas enzimas respiratorias y de reacciones del metabolismo del nitrógeno y la fotosíntesis; se necesita para el funcionamiento de la nitrato-reductasa, por cuya razón las plantas deficientes en manganeso requieren NH₃. También se necesita para la operación de algunas enzimas en el metabolismo de la hormona ácido indolacético.

El papel más importante del manganeso en la fotosíntesis reside en la secuencia de reacciones mediante las cuales se derivan electrones del agua y se libera oxígeno. El manganeso también puede tener un papel estructural en los cloroplastos, los que se tornan susceptibles a la luz en su ausencia y finalmente pierden su estructura y se desintegran bajo condiciones de disminución extrema de manganeso. La estructura de mitocondrias y núcleos no parecen afectarse del mismo modo, lo que indica que el papel del manganeso en los cloroplastos, a diferencia del hierro, tal vez sea bastante específico (Bidwell, 1993). Con todo, las deficiencias de Mn pueden suplirse con Mg²⁺, y el problema estriba en no superar determinados límites que producirían efectos competitivos con el Fe (Azcón y Talón, 2003)

En cuanto a las concentraciones de Fe y B que se consideran excesivas, pueden generar efectos adversos en el cultivo. En el caso de Fe, se ha reportado toxicidad por Fe en cultivos de arroz, cuyas concentraciones alcanzaron valores mayores a 300 ppm. El problema que se manifestó fue un anaranjamiento en la planta.

Por otro lado, se observa toxicidad de B cuando se usan dosis muy altas de sales conteniendo a este elemento o bien cuando se usan aguas negras que contienen detergentes a base de B; también son frecuentes los síntomas de toxicidad de B en terrenos irrigados con aguas de bombeo que contienen más de 1 ppm de B. La toxicidad de B se controla mediante lavados y uso de agua pobre en este elemento y se atenúa mediante la siembra de especies tolerantes y fertilización con Ca y nitrato (Alcantar, Trejo y Gómez,2016).

Desviación del Óptimo Porcentual (DOP)

El índice DOP es definido como la desviación porcentual de la concentración de un elemento (% sobre materia seca) con respecto a la concentración óptima considerada valor de referencia. El signo del DOP para un determinado elemento, será negativo en caso de déficit y positivo en caso de exceso. Cuando el contenido de la muestra coincida con el óptimo de referencia el DOP será igual a cero (Heras y Montañes,1991).

Para interpretar los resultados mediante el método DOP, los índices de cada nutriente se calcularon a partir de valores de las muestras mediante la Ecuación (3):

$$IA= ((A-a) /A) *100 \quad (3)$$

dónde: IA = índice del nutrimento, A = concentración de la muestra, a = valor de la norma.

Al emplear el método DOP para interpretar los valores nutrimentales de la muestra, las deficiencias detectadas fueron: N, P, Mn, Zn y Cu (Tabla 5). Al determinar el ORN a partir de la mayor deficiencia se encontró que los requerimientos nutrimentales son: Mn > Zn > Cu > N > P > K > Ca > Mg > B > Fe.

Con este método también se encontraron deficiencias de nitrógeno y fósforo, mientras que el potasio, calcio, magnesio, boro y hierro se consideran excesivos. Ningún elemento se encuentra en su óptimo. Una explicación es que algunos nutrientes que alcanzaron el rango óptimo dentro del IB, estaban en el límite inferior o superior de éste, y al aplicar un criterio diferente se mostraron como deficientes o excesivos.

Tabla 5. Concentración nutrimental e índices de Desviación del Óptimo Porcentual (DOP)

Concentración foliar promedio									
N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
3.40	0.30	1.7	1.4	0.33	125.00	150.00	32.50	7.00	37.5
		5	0						0
± 0.12	±	±0.	±0.	±0.10	±0.35	±0.18	±0.32	±0.29	±0.2
	0.10	27	30						0
Índices DOP									
IN	IP	IK	ICa	IMg	IFe	IMn	IZn	ICu	IB
-44.68	-	9.7	16.	28.26	73.57	-195.86	-144.36	-	73.0
	11.11	9	17					94.44	9

Cada promedio es seguido de su desviación estándar

4.3.2 Análisis factorial de variedades y fertilizantes

De acuerdo al análisis estadístico, se detectaron diferencias significativas en bloques, variedad y fertilizante en 10 características evaluadas de plantas de higuera. La interacción variedad y fertilizante fue significativa solo para el componente rendimiento de semilla. Para una mejor comprensión de los resultados, éstos se agruparon en tres grupos de acuerdo al tipo de variables evaluadas: características morfológicas, características de racimos y frutos, y rendimiento.

Variación de características morfológicas de planta entre variedades

De acuerdo al análisis aplicado en las variables morfológicas, hay diferencias significativas en altura de suelo a racimo principal y altura final, que son atribuibles al tipo de variedad de higuera (Tabla 6). La variedad Verónica fue la que obtuvo mejor desempeño en ambas variables. Según la clasificación de Veiga *et al.* (1989), son plantas con porte muy bajo, adecuadas para la implementación de cosecha mecanizada.

Tabla 6. Relaciones estadísticas y comparación de medias entre fuentes de variación y características morfológicas

FV	GL	Altura de suelo al racimo principal	Díámetro de tallo de planta	Altura Final
Bloques	2	34.51	0.01	15.77
Variedad	1	2.68*	3.50E-03	381.43*
Fertilizante	1	147.77	0.11	34.08
Variedad*Fertilizante	1	5.71	0.01	30.97
Error	6	13.7	0.03	60.02
CV		10.21	7.79	8.02
R²		0.79	0.46	0.57

Variedad	Altura de suelo al racimo principal	Altura Final
Verónica	23.30 ^a	90.92 ^a
Nica	30.32 ^b	102.20 ^b

Características de racimos y frutos

Respecto a las características del racimo principal y sus frutos, solo hubo diferencias significativas en la variable proporción de flor macho debido al tipo de variedad, siendo la variedad Verónica la que tuvo un mejor desempeño (Tabla 7).

Tabla 7. Relaciones estadísticas entre fuentes de variación y características de racimos y frutos en racimo principal

FV	GL	NRT	LGRP	PFMRP	NFRP	
Bloque	2		0.11	8.9	6.04	59.14
Variedad	1		0.17	130.71	177.61*	92.55
Fertilizante	1		0.11	0.15	0.04	149.39
V*F	1		0.21	31.89	6.7	1.93
Error	6		0.18	33.67	14.61	42.03
CV			15.62	8.46	30.74	20.18
R ²			0.4	0.47	0.69	0.59

Variedad	PFMRP
Verónica	8.59 ^a
Nica	16.28 ^b

FV=fuente de variación; NRT= número de racimos totales; LGRP=longitud total de racimo principal; PFMRP=proporción flor macho racimo principal; NFRP=número de frutos en racimo primario **Diferencias significativas a 0.01 de probabilidad; *Diferencias significativas a 0.05 de probabilidad.

En cuanto a las características de los racimos secundarios y sus frutos, hubo diferencias significativas en cuatro variables respecto a tipo de variedad. De acuerdo al análisis de comparación de medias, la variedad con mejores características fue Verónica (Tabla 8).

Tabla 8. Relaciones estadísticas y comparación de medias entre fuentes de variación y características de racimos y frutos en racimos secundarios

F.V.	GL	NFRS	LGRS	PFMRS	NFRS	LGRS	PFMRS	NFRS	LGRS	PFMRS
		1	1	1	2	2	2	3	3	3
Bloq.	2	13.76	7.52	15.89	39.76	65	13.26	274.69	1192.56	148.12
Var.	1	196.34**	846.44**	9.74	255.61**	668.14*	43.57	230.42	1122.95	1.07
Ferti.	1	8.05	107.3	0.51	4.86	146.13	6.83	0.49	140.65	7.65
VxF	1	13.29	182.78	0.45	2.33	5.46	11.02	18.96	199.4	21.56
Error	6	11.52	52.44	8.15	11.5	54.79	8.87	51.38	267.32	15.99
CV		66.41	15.93	18.82	59.08	15.88	19.28	122.74	68.62	45.23
R ²		0.78	0.79	0.46	0.83	0.74	0.62	0.72	0.71	0.77

Variedad	NFRS1	LGRS1	NFRS2	LGRS2
Verónica	9.16 ^a	53.86 ^a	10.35 ^a	54.07 ^a
Nica	1.07 ^b	37.06 ^b	1.12 ^b	39.14 ^b

FV=fuente de variación; NFRS1=número de frutos en racimo secundario 1; LGRS1= longitud total de racimo secundario 1; PFMRS1=proporción flor macho en racimo secundario 1; NFRS2=número de frutos en racimo secundario 2; LGRS2= longitud total de racimo secundario 2; PFMRS2=proporción flor macho en racimo secundario 2; NFRS3=número de frutos en racimo secundario 3; LGRS3= longitud total de racimo secundario 3; PFMRS3=proporción flor macho en racimo secundario 3; **Diferencias significativas a 0.01 de probabilidad; *Diferencias significativas a 0.05 de probabilidad.

4.3.3 Componentes de rendimiento

Respecto al componente de rendimiento de semilla (kg ha^{-1}) producida, hubo diferencias en las tres fuentes de variación, siendo altamente significativas en cuanto a fertilizante y significativas en la variedad e interacción variedad x fertilizante. Respecto a la variedad, Verónica fue superior; en el factor de fertilizante, Ápice tuvo un mejor desempeño siendo altamente significado.

De igual forma, tomando en cuenta la interacción entre los factores variedad y fertilizante, tuvieron un mejor desempeño la variedad Verónica en acción conjunta con el tratamiento de Ápice (2286 kg ha^{-1}), en contraste con el valor más bajo obtenido por la variedad Nica y tratamiento Castor (1534 kg ha^{-1}) (Tabla 9).

Tabla 9. Relaciones estadísticas y comparación de medias entre fuentes de variación y rendimiento de semilla

FV	GL	Rendimiento de semilla	FV	Media
Repeticiones	2	3316.49	Verónica	2173.04b
Variedad	1	208146.28*	Nica	1909.63 ^a
Fertilizante	1	621620.82**	Castor	1813.73 ^a
Variedad x Fertilizante	1	264321.71*	Ápice	2268.93b
Error	6	25807.96	Verónica-Castor	2093.85b
CV		7.87	Verónica-Ápice	2252.22b
R ²		0.88	Nica-Castor	1533.62 ^a
			Nica-Ápice	2285.65b

**Diferencias significativas a 0.01 de probabilidad; *Diferencias significativas a 0.05 de probabilidad.

Se promedió el rendimiento de cada variedad y fertilizante, así como el porcentaje de aceite extraído. Con esta información se calculó el rendimiento de aceite (kg ha⁻¹). Los valores se pueden observar en la Tabla 10

Tabla 10. Valores de componentes de rendimiento de higuera

Variedad	Fertilizante	Rendimiento semilla (kg ha⁻¹)	%aceite	Rendimiento aceite (kg ha⁻¹)
Verónica	Castor	2094	25.29	529.5726
Verónica	Ápice	2252	27.57	620.8764
Nica	Castor	1534	23.29	357.2686
Nica	Ápice	2286	27.12	619.9632

En términos generales, el efecto de fertilizante no generó diferencias apreciables en las características morfológicas, así como en racimos y frutos, sin embargo, si influyó en el rendimiento, tanto como factor aislado como en efecto conjunto con el tipo de variedad.

Estos resultados son similares a lo encontrado en un estudio donde se evaluó la influencia de dos densidades y 5 niveles de fertilización fosfatada sobre variables morfológicas y de rendimiento, siendo la densidad la que influyó en las diferencias de las características morfológicas y la cantidad de fósforo influyó en el rendimiento de semilla y de aceite.

Eso se debe a que la fertilización fosfatada propicia una mejor extracción mineral, especialmente del nitrógeno, así como una mejor absorción de CO₂, por lo que se le considera el elemento más portante para aumentar el rendimiento en higuera (Oliveira,2019).

En este caso bajo las condiciones de campo del sitio experimental la mejor combinación de tratamientos fue variedad Verónica y el fertilizante Ápice, obteniendo los mejores rendimientos. De acuerdo a Nobrega (2001), los rendimientos de Nica-Castor se consideran medios, y el resto se consideran altos; acorde con este mismo autor, el contenido medio de aceite de todos los tratamientos se considera bajo.

Por otro lado, de acuerdo a FAO (2018), el promedio en México de rendimiento de semilla de higuera es de 2.2 t ha^{-1} , acorde a esta información el rendimiento obtenido en este estudio es de bueno a regular, pues el valor más alto (2.4 t ha^{-1}) incluye el promedio nacional de acuerdo a FAO, mientras que el valor más bajo (1.4 t ha^{-1}) es casi la mitad de este promedio. En contexto global, estos rendimientos son adecuados, pues supera a todos los países productores, incluyendo a el grupo de países líder de producción de higuera como son India, China, Myanmar y Brasil,

En el contexto de América Latina, se han generado estudios al respecto en el cual han mejorado el rendimiento, obteniendo valores de hasta 5 t ha^{-1} como es el caso del estudio realizado por Dueñas y Uscocovich (2012). En el ámbito nacional, el rendimiento obtenido en este estudio es similar al obtenido en otros como es el caso del realizado por INIFAP (Rafael *et al.*, 2013), donde se obtuvieron valores máximos de 2.2 t ha^{-1} .

Lo anterior indica que no se ha alcanzado el máximo de potencial productivo y es necesario implementar otras mejoras tecnológicas con la finalidad de obtener insumos rentables de alta calidad. En este sentido, es importante tomar en cuenta a los diversos factores que influyen en el potencial productivo de un cultivo como son la variedad, fecha de siembra óptima, control de malezas y fertilización adecuada del cultivo, así mismo también la calidad de la semilla influye en el

rendimiento. Esta calidad implica aspectos genéticos, fisiológicos, físicos y fitosanitarios.

Bajo los criterios anteriores, el INIFAP, ha desarrollado algunas variedades altamente productivas en México en Guanajuato, Chiapas, Michoacán y Morelos (Barrios-Gómez *et al.*,2018). De éstas, sobre la que se ha investigado más para generar un paquete tecnológico es la variedad desarrollada en Guanajuato denominada Guanajuatoil.

Las recomendaciones para Guanajuatoil son: densidad de 4,440 plantas ha⁻¹, fórmula de fertilización 60-40-00 aplicando al momento de la siembra, también se recomienda incluir micorrizas desarrolladas por el INIFIPA, pues se ha logrado un incremento de rendimiento de 68.6% con respecto al tratamiento sin micorriza. De esta forma, se considera una opción viable para disminuir costos de fertilización química.

Otro caso es la variedad desarrollada para Querétaro, denominada ART 016, se recomienda el cultivo a una densidad de 15,600 plantas ha⁻¹, fórmula de fertilizante 120-60-00 aplicada de manera fraccionada, es decir, mitad de nitrógeno y todo el fósforo antes al momento de sembrar y el resto de nitrógeno en la primera escarda. La sugerencia de riego para ambas variedades es a los 0-40-75 días después de la siembra, apoyado de riegos de auxilio ligeros de 10 a 15 cm/riego. Otra opción de manejo es que puede mantenerse como planta perenne por cinco años o más si se realizan correctamente las labores culturales.

Respecto a los nutrientes necesarios para el desarrollo adecuado de la higuera, algunos autores han establecido que el cultivo de ricino sustrae del área de cultivo cerca de 50 kg ha⁻¹ de N, 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 16 kg ha⁻¹ de K₂O para producir 1.700 kg ha⁻¹ de semilla, sin contar con las cantidades absorbidas por otras estructuras de la planta como pueden ser raíces, tallos, corteza y hojas (Weiss, 1983).

Por lo que, al contrario de lo que se cree comúnmente, la higuera es una planta que necesita ser cultivada en suelos muy fértiles para obtener una buena productividad. Un ejemplo de ello es el estudio de Paixão *et al.* (2019), en el cual se obtuvieron rendimientos mucho más altos, de 3838.31 (kg ha⁻¹) con 52.5% más de aceite que en tratamiento testigo (0), bajo un tratamiento de 180 N kg ha⁻¹ y 80% de agua disponible, por lo que concluyen que tanto el suministro de nitrógeno como el agua disponible influyen fuertemente en el rendimiento y cantidad de aceite.

En experiencias contrastadas, la utilización de 80 kg ha⁻¹ de N en cobertura aumentó la productividad del cultivo, sin alterar el contenido de aceite en la semilla (Severino *et al.*, 2005, 2006). Por otro lado, aunque se considera que el contenido de aceite es un rasgo de alta heredabilidad, se han realizado estudios acerca de la influencia de la fertilización con fósforo en el contenido de aceite.

Oliveira *et al.* (2012), observaron un aumento en el rendimiento mediante la aplicación de tasas crecientes de P₂O₅ en cultivares AL Guarany 2002 y Lyra. El rendimiento máximo de grano de AL Guarany 2002 (2,822 kg ha⁻¹) y Lyra (2.780 kg ha⁻¹) se obtuvieron en las tasas de 120 kg ha⁻¹ y 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente.

Los autores atribuyeron el efecto positivo debido al bajo contenido de P disponible en el suelo (5.9 mg dm⁻³) y la relevancia de este nutriente al comportamiento productivo de la producción de aceite.

Cuando el agua es un factor aún más limitado que los nutrientes del suelo, el rendimiento de semillas de ricino muestra una respuesta limitada a los fertilizantes N, P y K (Neto *et al.*, 2009). En India, el rendimiento de la semilla aumentó en el ricino híbrido GCH-4 después de la fertilización con N y K (Hadvani *et al.*, 2010).

Por otro lado, Sahrawat *et al.* (2010), encontraron que en regiones semiáridas de la India donde las deficiencias de S, B y Zn son generalizadas, la fertilización con

estos tres nutrientes aumentó el rendimiento de semillas de ricino de secano en campos comerciales de 757 a 1043 kg ha⁻¹ durante 3 años de estudio. Cuando se aplicaron N y P, los rendimientos de semillas se incrementaron un 15% adicional.

Leles *et al.* (2010), realizó un estudio en suelos ácidos (pH 4.2), adicionando cal, aumentó el rendimiento de semillas de ricino, pero la adición de Zn no tuvo efecto en el crecimiento o la producción de las plantas.

En cuanto al boro, generalmente se considera un elemento inmóvil en el floema del ricino, por lo que, no se espera que una aplicación foliar de este elemento sea eficaz. Sin embargo, Eichert y Goldbach (2010) demostraron que la movilidad del floema de B es alta si la tasa de flujo de xilema es baja (es decir, bajo alta humedad relativa del aire o condiciones de suelo seco). En estas condiciones, parece que B puede ser tomado y traslocado de las hojas a las semillas en desarrollo.

Otros aspectos que influyen en el rendimiento de semilla y aceite son la densidad de plantación, distancia entre hileras y agua disponible para el cultivo. Oliveira (2019) establece que el mejor arreglo de plantas (densidad y espaciado entre líneas) depende de las características del genotipo como tamaño, hábito de crecimiento, arquitectura de planta, condiciones edafoclimáticas y tecnología de producción. También la temperatura afecta el rendimiento, pues temperaturas superiores a 40 °C, provocan aborto de flores y reducción en el contenido de aceite de las semillas. La higuera soporta largos períodos de sequía, incluso en la fase de maduración de frutos. Sin embargo, produce semillas más livianas con menor porcentaje de aceite (Embrapa,2005).

4.4 CONCLUSIONES

Se concluye que bajo las condiciones edafoclimáticas de la parcela experimental El Sarahual, el mejor tratamiento, fue la variedad Verónica fórmula Ápice ya que con éste se superó el promedio nacional de acuerdo a FAO. Estos rendimientos son adecuados, pues supera a todos los países productores, incluyendo a el grupo de países líder de producción de higuera como son India, China, Myanmar y Brasil; En contraparte, el peor tratamiento fue variedad Nica tratamiento Castor Fields, pues su rendimiento es casi la mitad más bajo que el promedio nacional. Esto demuestra la importancia de la aplicación de tratamientos nutritivos adecuados a las necesidades del cultivo. Sin embargo, de acuerdo a los rendimientos obtenidos en otros estudios de investigación en Brasil y Ecuador, los rendimientos obtenidos en esta prueba aún son bajos. En este sentido, una opción viable para incrementar el rendimiento, se considera la aplicación continua de productos nutritivos adecuados a las características y condiciones edáficas de la plantación, así como las necesidades nutrimentales del cultivo.

Por otro lado, el contenido medio de aceite de todos los tratamientos se considera bajo. Esta característica se considera altamente influenciada por el factor genético y no por fertilización, por lo que resulta importante buscar otras variedades con mejor potencial genético que las utilizadas en este estudio.

4.5 LITERATURA CITADA

- Alcántar-González, G., Trejo-Téllez, L. I. C. y Gómez-Merino, F.C. (2016). Nutrición de cultivos. Colegio de posgraduados, bba. 2ª edición. Texcoco, México. Pp 443
- Amorim N., M. da S., Araujo, A. E., de., Beltrão, N. E. de M. (2001). Clima e solo. En: Pedrosa de A., M, Lima F., E. Ed. O agronegocio da mamona no Brasil. Embrapa Algodão, Campina Grande. pp. 62-76.
- Armendáriz V., J. (2012). Caracterización fenotípica y molecular de genotipos de higuierilla (*Ricinus communis* L.) para la producción de biodiesel (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León) Consultada en <http://eprints.uanl.mx/2545/1/1080256522.pdf>.
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2003). Fundamentos de fisiología vegetal. McGrawHill. Universitat de Barcelona.
- Beltrão, N. E. de M. (2002). Crescimento e desenvolvimento da mamoneira (*Ricinus communis* L.). Comunicado Técnico 146. Embrapa. Campina Grande, PB. Dezembro. 4p.
- Bidwell, R. G. S. (1993). Fisiología Vegetal. Primera Edición en español, A.G.T. Editor, S.A. D.F., México. Pp 804
- CABI. (2019). Invasive Species Compendium. Recuperado 6 de agosto de 2020, de CABI. Association of International Research and Development Centers for Agriculture, en: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/47618#tobiologyAndEcology>
- Camacho V., L. Soares y M. del Águila. (2007). Evaluación de cuatro cultivares de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en la selva del Perú, Región Ucayali. III Congreso Brasileiro de Mamona.
- Díaz P. G. (2009). Potencial productivo de especies vegetales para la producción de insumos bioenergéticos en México. En: Memoria de la 55 Reunión Anual de la Sociedad del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales(PCCMCA). Campeche.
- Domínguez-Martínez, P. A., Ocampo, R. J., Villanueva, C. F. G., & Serna, R. R. (2015). Pasta de higuierilla como suplemento de bajo costo para novillos en condiciones de pastoreo. VI Congreso Internacional de Manejo de Pastizales. Durango, septiembre, 2015, pp 69-71 ISBN: 978-607-503-183-5
- Elizondo, E. B., Zúñiga, K. S., Serrano, E. A., González, I. M., Murillo, F. H., Hernández, G. V., & Valverde, E. A. (2019). Establecimiento de cultivos bioenergéticos como fuente de energías alternativas, mediante el desarrollo de materiales de siembra en tres sitios de Costa Rica. Tecnología en Marcha, 32(3), 25-34.
- Falasca, S. L., Ulberich, A. C., Ulberich, E. (2012). Developing an agro-climatic zoning model to determine potential production areas for castor bean (*Ricinus communis* L.). En: Industrial Crops and Products. 40: 185– 191.
- FAOSTAT (2018). Recuperado 10 de junio de 2020, de FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

- Franco G. (2008). Generalidades del Manejo del Cultivo. En: Higuierilla: Alternativa Productiva, Energética y Agroindustrial para Colombia. Navas A. (Ed.) Centro de Investigación La Selva-CORPOICA. Rionegro Antioquia, Colombia.
- Gómez S. D. (2006). Anteproyecto: Producción de biodiesel, metanol, etanol y subproductos para el autoconsumo de cooperativas de productores en Durango. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Campo Experimental Valle de Guadiana. Durango, México. 22p.
- Goytia-Jiménez, M. A.; Gallegos-Goytia, C. H. y Núñez-Colín, C. A. (2011). Relación entre variables climáticas con la morfología y contenido de aceite de semillas de higuierilla (*Ricinus communis* L.) de Chiapas. Rev. Chapingo Ser. Cienc. Forest. Amb. 17(1):41-48.
- Heras, L., y Montañés, L. (1991). Desviación del óptimo porcentual (DOP): Nuevo índice para la interpretación del análisis vegetal. In Anales de la Estación Experimental de Aula Dei, 20 (3-4): 93-108
- ICRAF. (2020). History of World Agroforestry Recuperado 10 de junio de 2020, de World Agroforestry website: <http://www.worldagroforestry.org/about/history>
- Kiran, B. R., & Prasad, M. N. V. (2017). *Ricinus communis* L.(Castor bean), a potential multi-purpose environmental crop for improved and integrated phytoremediation. EuroBiotech J. 1 (2), 101–116.
- Krishnamurthy L. y Uribe-Gómez M. (Eds). (2002). Tecnologías Agroforestales para el Desarrollo Rural Sostenible. PNUMA SEMARNAT. México. 461 p.
- Krishnamurthy, L., Krishnamurthy, P. K., Rajagopal, I., & Solares, A. P. (2019). Can agroforestry systems thrive in the drylands? Characteristics of successful agroforestry systems in the arid and semi-arid regions of Latin America. Agroforestry Systems, 93(2), 503-513.
- Kumar, P. V., Ramakrishna, Y.S., Ramana R., B.V., Victor U.S., Srivastava, N.N., Subba R., A.V.M. (1997). Influence of moisture, thermal and photoperiodic regimes on the productivity of castor beans (*Ricinus communis* L.). En: Agricultural and Forest Meteorology. 88: 279-289.
- Leal D., E. Jiménez. (2009). Caracterización Morfométrica de cinco ecotipos de higuierilla (*Ricinus communis*) en la ESPOL "Campus Gustavo Galindo".
- Machado, C. G.; Martins, C. C.; Silva, L. B. and Cruz, S. C. C. (2009). Acta Scientiarum Agronomy. (31):293-299.
- Machado, R.; Suárez, J. y Alfonso, M. (2012). Caracterización morfológica y agroproductiva de procedencias de *Ricinus communis* L. para la producción de aceite. Pastos y Forrajes. 35(4):381-392.
- Moreno-Calles A.I., Casas, A., Toledo, V.M. y Vallejo M. (2016b). Etnoagroforestería en México. Morelia: Universidad Nacional Autónoma de México-Escuela Nacional de Estudios Superiores – Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad. ISBN: 9786070281648
- Muñoz, D. A., Calvache, D. A., & Yela, J. F. (2013). Especies forestales con potencial agroforestal para las zonas altas en el departamento de Nariño. Revista de Ciencias Agrícolas, 30(1), 38-53.

- Naik B. (2018) Botanical Descriptions of Castor Bean. In: Kole C., Rabinowicz P. (eds) The Castor Bean Genome. Compendium of Plant Genomes. Springer, Cham.
- Nair, P.R.K. y D.P. Garrity (Eds.). (2012a). Agroforestry: The future of global land use, Springer, USA.
- Nair, P. K. R., & Garrity, D. (2012b). Agroforestry research and development: the way forward. Agroforestry-The Future of Global Land Use. Springer. P, 515-531.
- NCRI, (2013). Castor Breeding, National Cereal. Research Institute, Nigeria. Annual Research Review. Pp. 203-223.
- Palma-García, J. M. (2018). Utilización de *Ricinus communis* L.(higuerilla) en el desarrollo de sistemas silvopastoriles. Avances en Investigación Agropecuaria, 22(1), 43-44.
- Pandey D. (2002). Fuelwood studies in India – myth and reality. Centre for International Forestry Research (CIFOR), Jakarta. p108
- Patel, V. R., Dumancas, G. G., Viswanath, L. C. K., Maples, R., & Subong, B. J. J. (2016). Castor oil: properties, uses, and optimization of processing parameters in commercial production. Lipid insights, 9, LPI-S40233.
- Rafael-Rodríguez y Alfredo-Zamarripa. (2013). Competitividad de la higuerilla (*Ricinus communis*) para biocombustible en relación a los cultivos actuales en el estado de Oaxaca, México 1. <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/143921/2/12%20Higuerilla%20INIFAP-%20OAXACA.pdf>.
- Restrepo F.; G. Salazar y M. Aristizabal. (2010). Alternativas de producción de higuerillo (*Ricinus communis* L.) con fines de extracción de aceites para biodiesel y la industria oleoquímica como estrategia para el fortalecimiento del Departamento de Caldas. IV Congreso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, João Pessoa. Pp 1-6.
- Rico, P., HR, T. V., Teniente, O. R., González, Á. A., Hernández, M. M., Solís, B. J. L., & Zamarripa, C. A. (2011). Guía para cultivar higuerilla (*Ricinus communis* L.) en Michoacán. Folleto técnico, (1).
- Rivera-Brenes, P. A. y Hernández-López, J. (2016). Evaluación de rendimiento y calidad de aceite de siete de *Ricinus communis*. Universidad de Costa Rica Alajuela. Rev. Mesoam. 27(1):183-189.
- Robles. S.R. (1980). Producción de oleaginosas y textiles. Ed. LIMUSA. México. Pag. 507-518.
- Rodriguez Hernandez, R., & Zamarripa Colmenero, A. (2013). Competitividad de la higuerilla (*Ricinus communis*) para biocombustible en relación a los cultivos actuales en el Edo. de Oaxaca, México. Revista mexicana de agronegocios, 32(1345-2016-104349), 306-318.
- Salihu, B. Z., Gana, A. K., & Apuyor, B. O. (2014). Castor oil plant (*Ricinus communis* L.): botany, ecology and uses. International Journal of Science and Research, 3(5), 1333-1341.
- Samayoa M. (2007). Manual Técnico del Higuerillo. Ministerio de agricultura y ganadería El Salvador C.A. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, CENTA. Programa Agroindustrial.

- Sánchez-Hernández, R. F., Goytia-Jimenez, M. A., Uribe-Gomez, M., & Muñes-Colin, C. A. (2012). Diseño de un sistema agroforestal de higuierilla (*Ricinus communis* L.). In Embrapa Algodão-Resumo em anais de congresso (ALICE). CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 5.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 2.; FÓRUM CAPIXABA DE PINHÃO-MANSO, 1., 2012, Guarapari. Desafios e Oportunidades: anais. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2012.
- Severino, L.S. (2009). Análise do preço diário da mamona entre 2002 e 2008 em Irecê, Bahia. Embrapa Algodão, Campina Grande, Brasília, Brazil.
- Severino, L. S., Auld, D. L., Baldanzi, M., Cândido, M. J., Chen, G., Crosby, W., ... & Machado, O. L. (2012). A review on the challenges for increased production of castor. *Agronomy journal*, 104(4), 853-880.
- Soares L. y de Souza, T.M. (2005). Generalidades sobre el cultivo de higuierilla. Embrapa.Brasil.
- Soares L., Milai, M., y De Macêdo, N.E. (2007). Ricino. El productor pregunta, la Embrapa responde. Embrapa Información Tecnológica. Brasília, DF. 250 p.
- Vakil, S. (2005). Welcome address. In: Proceedings Castorseed Crop Prospect and Price Outlook, 3rd, Mumbai, India. 17 Feb. 2005. Th e Solvent Extractors' Assoc. of India, Mumbai, India. p. 7.
- WEISS, E.A. (1983). Oilseed crops. London: Longman, 660p.
- Shams A, Moursi MA, Ahmed SS. Effects of nitrogen and spacing on castor bean in sandy soils in Egypt. Cairo University. U.A.R. National Research Centre andFaculty of Agriculture. 1967;61-64.
- Pohlmeier A. Change in soil water content resulting from *Ricinus* root uptake monitored by megnatic resonance imaging. *Vadose zone journal*. 2007; 7:1010-1017.
- Maryan P, Dilek B. The effects of different nitrogen doses on yield and some agricultural characteristics of castor bean plant (*Ricinus communis* L.) Igdir Univ. J. Inst. Sci & Tech. 2012;2(2):83-92.